

natuur en techniek



48^e jaargang 1 | '80

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad

Bij de omslag

Een close-up opname van het beproeven van een schakeling op een pas vervaardigde 'chip'. Dit beproeven geschiedt door middel van een computer gestuurd testapparaat dat zijn informatie verkrijgt via 40 haardunne naaldjes op de aansluitpunten van de chip. Wat de verwachte gevolgen van de intrede van de chip voor onze samenleving zullen zijn kunt U lezen op pag. 72-77, waar een uittreksel van het Rapport van de Commissie Rathenau staat.

(Foto: Karsten de Riese, Bairawies, W-Dld).

NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en Administratie:

Voor Nederland: Op de Thermen, Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-54044*.

Voor België: Tervurenlaan 62, 1040-Brussel. Telefoon: 0031-4354044.

Hoofdredacteur: Th. J. M. Martens.

Redactie: J. A. B. Verduijn en Dr. P. S. van Wielink.

Redactie medewerkers: A. de Kool, Drs. Chr. Titulaer en Dr. J. Willems.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doorenmaalen, Prof. dr. W. Fiers,

Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. G. W. Rathenau, Prof. dr. ir. A. Rörsch,

Prof. dr. R. T. Van de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

Wetenschappelijke correspondenten: Dr. P. Bentvelzen, Drs. W. Bijleveld,

Dr. F. P. Israel, R. J. Querido, Dr. A. R. Ritsema, Dr. K. Weyer.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, Joh. Wagenveld en M. Verreijt.

Druk: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223*.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto): Voor Nederland: f 67,50. Losse nummers: f 6,15 (excl. verzendkosten). Voor België: 1000 F. Losse nummers: 95 F (excl. verzendkosten). Abonnementen overige landen: + f 27,50 extra porto (zeepost) of + f 40,— tot f 80,— (luchtpost).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari óf per 1 juli, doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar. Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen: Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v. Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31 t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties: Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te Heerlen.

Voor België: Kredietbank Brussel.

Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).



Een uitgave van

 **Centrale uitgeverij en adviesbureau b.v.**

pag. 2-21



H. F. Mulder - Ergonomie - Een mensvriendelijke technologie.

Ergonomie kan worden omschreven als het zodanig ontwerpen van producten, gereedschappen, werkomstandigheden en werkmethoden, dat een optimale efficiency, veiligheid en comfort wordt bereikt bij bediening en onderhoud van het mens-machine systeem. In de relatief korte tijd van haar bestaan heeft de ergonomie zich een belangrijke rol verworven bij het verbeteren van de relaties tussen de mens en de technologieën, waarmee wij in toenemende mate worden geconfronteerd.

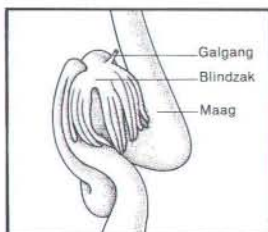
pag. 22-37



J. M. E. Kuijpers - De actieve zon - De corona.

De corona van de zon bestaat uit een heet en ijl gas dat aan de basis voortdurend ververst en verhit wordt, terwijl de buitenste lagen in de vorm van de zonnwind met grote snelheid de interplanetaire ruimte instromen. In actieve gebieden op de zon kunnen zonnevlammen optreden, waarbij de corona gedurende korte tijd intens oplicht in het röntgen- en radiostralinggebied. Ook worden hierbij gasmassa's in de corona naar buiten geslingerd waar ze schokgolven veroorzaken. In de corona zijn magnetische krachten van overheersend belang voor de dynamica van het (ijle) gas.

pag. 38-55



H. W. J. Strobant, J. H. W. M. Rombout, J. H. M. Davina - Maagloze vissen - Bouw en functie van het darmkanaal.

De maag is een belangrijk onderdeel van het spijsverteringsstelsel. Vele vissoorten hebben echter geen maag en zijn toch in staat voedsel efficiënt op te nemen en te verteren. Omdat vele maagloze vissen, waaronder de Karperachtigen, een belangrijke bron van voedsel vormen staat het onderzoek naar het functioneren van het spijsverteringskanaal van deze dieren in een toenemende belangstelling.

pag. 56-71



J. G. Erlings - Elektronendiffractie.

Met behulp van een transmissie-elektronenmicroscop is het mogelijk om de opbouw van kristallen en de defecten daarin te bestuderen. Elektronen zullen door de atomen waaruit een kristallijn materiaal is opgebouwd, worden verstrooid en aanleiding geven tot bepaalde diffractiepatronen. Uit deze patronen kunnen kristallografische gegevens verkregen worden. Door nieuwe ontwikkelingen op het gebied van elektronenmicroscopen zal elektronendiffractie in de toekomst een (nog) grotere plaats in het materiaalkundig onderzoek gaan innemen.

Power Supply



De Sn14, Sn15 en Sn16.
Deze drie Bang & Olufsen konstante spanning/stroombronnen zijn universeel toepasbaar mede door:

- Bijzonder compacte uitvoering
- Zeer goede stabiliteit
- Aktieve beveiliging tegen kortsluiting
- Scherpe spanning/stroomovergang
- Zeer laag ruisniveau
- Didactische opbouw van de functies

Prijzen: Sn14 - f 315,-
Sn15 - f 345,-
Sn16 - f 760,-

Bon

Ik ben geïnteresseerd en vraag documentatie aan

Naam: _____

Adres: _____

Woonplaats: _____

tel. 0 _____

exkl. B.T.W. franko huis



(in open envelop ongefrankeerd opsturen naar B&O, antwoordnr. 124, 1200 WK 's-Graveland)

Nadere inlichtingen: 035-61824

Bang & Olufsen
Measuring instruments division

WEIZMANN INSTITUUT VAN WETENSCHAPPEN

INTERNATIONAAL WETENSCHAPPELIJK VAKANTIEKAMP

7 juli - 7 augustus 1980

Het Internationaal Wetenschappelijk Vakantiekamp van het Weizmann Instituut biedt jaarlijks aan een aantal eind-examinandi de gelegenheid, gedurende de zomervakantie enige tijd in internationaal verband aan wetenschappelijk onderzoek te wijden. Hiertoe wordt voor hen door de medewerkers van het Weizmann Instituut een programma georganiseerd, waarin, naast voordrachten, veel aandacht aan praktisch werk wordt besteed. Daarnaast vormen ook excursies in Israël deel van het programma.

Het vakantiekamp is bestemd voor eind-examinandi VWO van 17-18 jaar. Kandidaten dienen een uitgesproken belangstelling te hebben voor exacte wetenschappen, de Engelse taal zeer goed te beheersen en in internationaal verband goed te kunnen samenwerken.

De beurzen voor het Internationaal Wetenschappelijk Vakantiekamp, waarvan een beperkt aantal is bestemd voor Nederlandse reflectanten, omvatten de kosten van verblijf en activiteiten in Israël. In de reiskosten dient zelf te worden voorzien. In bijzondere gevallen kan een bijdrage in de reiskosten worden toegerekend.

Aanmeldingen dienen vergezeld te gaan van een aanbeveling van de directeur/direktrice van de school of van de leraar/lerares in één der exacte vakken.

Aanmeldingsformulieren zijn tot 1 april 1980 verkrijgbaar bij het Nederlands Comité van het Weizmann Instituut van Wetenschappen, Postbus 71043, Amsterdam en dienen uiterlijk 1 mei 1980 ingezonden te zijn.

Dr. H. F. Mulder ('Ergonomie - Een mens-vriendelijke technologie') werd op 3 maart 1918 te Den Haag geboren. Van 1932 tot 1953 was hij werkzaam als waterbouwkundig tekenaar, constructeur en opzichter. Van 1953 tot 1970 was hij test assistent en bedrijfspsycholoog. In deze periode studeerde hij van 1961 tot 1965 sociale psychologie en pedagogiek aan de Universiteit van Amsterdam waar hij in 1969 promoveerde. Vanaf 1970 is hij docent psychologie en ergonomie aan de TH Twente.

Dr. J. M. E. Kuipers ('De actieve zon - De corona') werd op 11 september 1946 te Eindhoven geboren. Hij studeerde theoretische sterrekunde aan de RU te Utrecht van 1964 tot 1971, waar hij in 1975 promoveerde. Vanaf 1971 is hij als wetenschappelijk medewerker verbonden aan de Sterrewacht Utrecht.

Drs. H. W. J. Strobant ('Maagloze vissen - Bouw en functie van het darmkanaal') werd op 31 december 1946 te Zeist geboren. Hij studeerde van 1967 tot 1972 biologie aan de RU te Utrecht. Vanaf 1972 is hij wetenschappelijk medewerker aan de Afd. Experimentele Diermorfologie en Celbiologie van de LH Wageningen.

Drs. J. H. W. M. Rombout ('Maagloze vissen') werd op 2 oktober 1948 te Tilburg geboren. Hij studeerde van 1966 tot 1972 biologie aan de RU te Utrecht. Vanaf 1972 is hij wetenschappelijk medewerker aan dezelfde afdeling van de LH Wageningen.

Ir. J. H. M. Davina ('Maagloze vissen') werd op 14 november 1951 te Oldenzaal geboren. Hij studeerde van 1970 tot 1977 biologie aan de LH Wageningen. Vanaf 1977 was hij eerst wetenschappelijk medewerker aan de LH Wageningen en daarna aan de Kath. Universiteit Nijmegen.

Dr. ir. J. G. Erlings ('Elektronendiffractie') werd op 25 juni 1953 te Dordrecht geboren. Hij studeerde van 1970 tot 1975 metaalkunde aan de TH Delft, waar hij in november 1979 promoveerde. Van 1976 tot 1979 was hij wetenschappelijk medewerker aan de TH Delft en vanaf november 1979 werkzaam als werkgroep leider sectie corrosie engineering van het Koninklijk Shell Lab. te Amsterdam.

Chips

Al een paar dagen loop ik wat schichtig rondjes om het Verslag van de Adviesgroep Maatschappelijke Gevolgen van de Micro-electronica. Nu en dan pak ik het weer eens op en zoek achterin naar tabel 3 van bijlage 3, op bladzijde 16 van die bijlage (getypte versie van het rapport). Ik lees weer eens stukjes waarin ik de verklaring van het raadsel misschien had moeten vinden. Die bijlage 3 bijvoorbeeld. En hoofdstuk 3. En een addendum bijlage 3 helemaal achterin het verslag, maar het raadsel wordt niet opgelost.

En toch kan het eigenlijk helemaal niet. Er móet een vergissing in het spel zijn. Een gezelschap van negen hoogleraren en een dr. ir. kan nooit over zoiets heen lezen. Zeker niet wanneer dat gezelschap me eerst 67 pagina's lang zo vrolijk heeft gestemd, er steeds blij van geeft uiterst kritisch te staan tegenover de betrouwbaarheid van gegevens, erop wijst dat het gevaar bestaat dat we steeds meer zullen gaan vergeten wat niet in formules is uit te drukken en dat lang niet de hele menselijke werkelijkheid in formeel logische uitspraken is te vatten.

De enige mogelijkheid zou dan nog wezen, dat er een typefout is gemaakt. De cijfers worden dan wat onbegrijpelijk, maar omdat er verder weinig anders wordt vermeld over de manier waarop de cijfers tot stand zijn gekomen, dan dat er 150 vergelijkingen mee zijn gemoeid - op zich een bedenkelijke zaak in een rapport van zoveel betekenis - zou dat alleen maar onbegrijpelijk en oncontroleerbaar zijn, niet noodzakelijk fout. Dus het ministerie opgebeld en het probleem voorgelegd. Je kunt niet voorzichtig genoeg zijn, eerlijk gezegd ook omdat de voorzitter van de commissie tevens lid is van de Redactie-Adviesraad van dit blad.

Het bleek de eerste keer te zijn dat iemand over die tabel was gevallen. Ook in de commissie zelf was er geen enkele keer aandacht besteed aan de merkwaardige afwijking in de tabellen waar het hier over gaat. Wel heeft men daar - en dat is ook heel duidelijk in het rapport terug te vinden - nogal wat twijfels uitgesproken over de kwaliteit van de berekeningen als zodanig, en dat was een van de din-

gen die mij ertoe hadden gebracht tot bovenaan bladzijde 68 te denken dat ik nu eindelijk eens een niet-sikkeneurige column zou mogen produceren. Dat geluk is me niet gegund.

Terzake dan maar. Vooruit met de geit. De teerling is geworpen. Enzovoorts.

De commissie heeft het Centraal Plan Bureau gevraagd volgens de daar gebruikelijke methoden te berekenen wat de invoering van chips voor de Nederlandse economie zou betekenen, wat afremmen van de invoering zou inhouden, en welke overheidsmaatregelen er zouden kunnen worden genomen om een aantal problemen, met name de werkloosheid, zo goed mogelijk aan te pakken.

Er blijkt dan dat er zonder speciale overheidsmaatregelen bij afremmen van de invoering van chips volgens deze berekening (die dus twijfelachtig is) een wat minder sterke groei in arbeidsproductiviteit, produktie en investeringen plaats te vinden. De werkloosheid neemt iets minder toe (160 000 werklozen meer in plaats van 170 000 werklozen meer dan voorspeld volgens het normaal gehanteerde model) en in- en export nemen beide evenveel toe.

Terecht merkt de commissie op, dat de verschillen zo klein zijn, dat op grond hiervan, gezien ook de onbekende onbetrouwbaarheid van het model, geen uitspraken te doen zijn voor of tegen afremmen of bevorderen van het gebruik van chips.

Dan gaan we overheidsmaatregelen invoeren. Het CPB laat de overheid één maatregel nemen, een maatregel bovendien waarvan bekend is, dat het model daar bijzonder gevoelig voor is: loonmatiging. Een van de kritiekpunten die op het model zijn geuit is, dat als men een model zou willen ontwerpen om te bewijzen dat loonmatiging het antwoord is op alle economische problemen, men met dit model een heel eind komt. Maar goed, de commissie kent de zwakte van het model, dus daar zou rekening mee kunnen worden gehouden.

Maar nu komt de grote truc: het CPB combineert het zoveel mogelijk stimuleren van chipgebruik met een loonmatiging van 1 pct per jaar, en het afgeremde gebruik met een loonmatiging van 0,5 pct per jaar. En dus komt zo snel mogelijk invoeren van chips (met grote loonmatiging) veel beter uit de bus dan vertraagd invoeren (met kleine loonmatiging). Of eigenlijk, want zo zit het model in elkaar: een grote loonmatiging komt beter uit de bus

dan een kleine, en het verschil dat je bij gelijke matiging krijgt tussen snel en langzaam invoeren van chips ligt met hooguit 20 000 arbeidsplaatsen (in het voordeel van langzaam invoeren!) in elk geval ver binnen de foutengrens van de uitkomsten: uit deze berekeningen valt dan ook in het geheel niets af te leiden.

En daarmee komt de stellingname van de commissie, nl. dat de overheid 'dus' het gebruik van de chips zoveel mogelijk moet bevorderen, geheel in de lucht te hangen. Dat hing die toch al een beetje gezien de onbetrouwbaarheid van het model, waarvan niet mag worden gezegd: "het eventueel niet betrouwbaar zijn van de uitkomst geldt voor beide scenario's in dezelfde mate". Wanneer een instrument een betrouwbaarheid van 20 pct. heeft (en er zijn aanwijzingen dat de betrouwbaarheid zelfs op korte termijn niet hoger mag worden aangeslagen) dan mogen we de aanwijzingen 140 ± 20 en 190 ± 20 slechts interpreteren als 140 ± 20 en 190 ± 20 . 140 ± 20 = 120 - 160 en 190 ± 20 = 170 - 210, met als goede mogelijkheid een gelijke uitkomst tussen 120 en 210.

Jammer is ook, dat de commissie haar afwegingen niet duidelijk maakt. Na (als gezegd, op uiterst twijfelachtige gronden) geconstateerd te hebben dat op (sociaal-)economische gronden het chipgebruik zoveel mogelijk moet worden bevorderd, moeten we dan maar zien dat we alle nadelen opvangen. Die nadelen zijn niet gering. (Toch) grote werkloosheid, trendmatige achteruitgang van de kwaliteit van het werk, steeds minder aandacht voor niet per computer te hanteren menselijke behoeften, de opgelegde mogelijkheid van controle over het hele doen en laten (automatische registratie van waaraan iemand zijn geld uitgeeft, welke boeken iemand leest, zelfs welke brieven iemand schrijft). Dat alles wordt voor de commissie een gegeven als de economische aantrekkelijkheid van chips is aangetoond. Dat wordt niet zo gezegd, maar wel gedaan.

En niet helemaal ten onrechte, want de chips komen. Niet omdat de commissie dat wil, niet omdat het CPB dat wil, niet omdat de regering dat wil, maar omdat ze in vele gevallen goedkoop een aantrekkelijk produkt kunnen helpen vervaardigen, en beslissingen daarover vallen niet bij commissie, CPB of regering, maar bij bedrijfsleidingen. We komen er nog wel eens op terug.

A. de Kool

Ergonomie

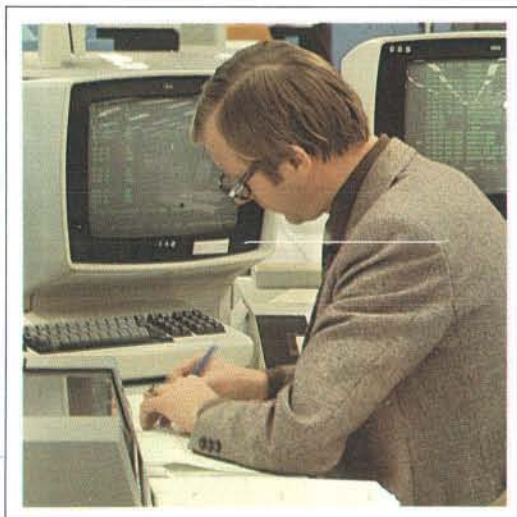
Als je zo het artikel van H. F. Mulder over ergonomie leest, dan vraag je je af waarom nog niet iedereen gelukkig is met zijn werk. Ergonomie immers, is er op uit de machine aan te passen aan de mens en zelfs niet alleen de machine, maar de hele werkomgeving. Dat is andere koek dan een lopende band, waaraan de mensen met een door het tempo van de band voorgeschreven ritme handelingen moeten verrichten, die ze dan ook maar op één manier zo snel als nodig is kunnen doen: de manier die is uitgedacht door de arbeidsanalist. Je zou zeggen dat, nu het vak ergonomie zo ver is doorgedrongen, nu geen autofabrikant het meer zou aandurven een vrachtwagencabine te ontwerpen zonder daar een legertje ergonomen bij te betrekken, nu al jaren lang het ergonomisch aangepast zijn een verkoopargument is voor werktuigmachines, dat nu toch wel de tijd moet zijn aangebroken dat elke arbeider zondagsavonds al zit te popelen om maandag aan het werk te kunnen.

Het zal niet veel mensen verbazen wanneer we vaststellen dat zulks jammer genoeg nog niet het geval is. Voor een deel kan dat misschien worden toegeschreven aan het toch nog veruit onvoldoende gebruik van de mogelijkheden die de ergonomie biedt - waarmee al is aangeduid dat we voor de ergonomie grote mogelijkheden zien.

Voor een ander deel komt het ook, doordat de resultaten van ergonomisch onderzoek - en als men de criteria vanuit dit oogpunt bekijkt, blijkt dat ook uit het artikel, hoewel er verder geen nadruk op wordt gelegd - op twee manieren gebruikt kunnen worden. Het doel van de ergonomie is het werk van de mensen te veraangename en te verlichten, en in zoverre is ergonomie inderdaad heel andere koek dan het ontwerpen van een lopende band waaraan een handeling verricht moet worden volgens een ritueel, dat voorgeschreven is op basis van meetgegevens van de beschikbare tijd. Maar ergonomie wordt ook gebruikt om dat voorgeschreven ritueel nog verder te vereenvoudigen en zo de produktie nog weer verder te verhogen, om de lopende band zo te bouwen dat die nog weer wat sneller kan gaan.

Op zich zijn deze twee toepassingen niet per definitie strijdig. De hele ontwikkeling van de produktietechniek volgt bij benadering dezelfde lijn: er wordt nu per man veel meer geproduceerd dan tien, twintig of honderd jaar geleden, en er wordt heel wat minder gesjouwd, gebukt enzovoort. Maar met veel andere ontwikkelingen heeft ergonomie gemeen, dat de relatieve taakverlichting vaak niet wordt gebruikt om het leven van de betrokkene aangenamer te maken, als wel om met minder mensen hetzelfde te presteren. In dat geval blijft de fysieke taak ongeveer gelijk, maar de psychische druk die ontstaat door de snellere uitvoering ervan neemt toe, en daarmee bijv. het ziekteverzuim. Ondanks de ergonomie, maar misschien wel als gevolg van de manier waarop die soms wordt gebruikt.

Om dat laatste gaat het. Zoals zo vaak het geval is zijn er niet zo maar redenen om de ergonomie te veroordelen. Integendeel, net als vele andere ontwikkelingen zijn er grote mogelijkheden aan te wijzen om met deze 'techniek' het leven te veraangename. Maar ook het omgekeerde is mogelijk.



ERGONOMIE

Een mensvriendelijke technologie

Waarom zit de ene stoel lekker en de andere niet? Waarom draaien we een waterkraan naar links als we meer volume willen hebben, terwijl het bij een versterker net andersom moet? Overal ervaren we dat sommige producten goed zijn aangepast aan de menselijke mogelijkheden en behoeften



Ergonomie is de wetenschap die zich bezig houdt met de verbetering van de relatie tussen mens en technologie. Aan de mens-machine verhouding worden hoge eisen gesteld. Het cockpitinstrumentarium in moderne verkeersvliegtuigen zoals de Fokker F28 Fellowship is ergonomisch bepaald. Volgens de modernste inzichten op ergonomisch gebied wordt thans bij de Fokker fabrieken gestudeerd op het cockpit-ontwerp voor de tachtiger jaren. Mensen komen veel meer in aanraking met de technologie dan vroeger. Een voorbeeld hiervan is het werken met beeldstations. Het dragen van gehoorbeschermers bij een te hoog geluidsniveau is geen ergonomische oplossing omdat de mens aan de machine wordt aangepast en niet andersom.



en andere niet. De ergonomie houdt zich bezig met het op een systematische manier afstemmen van systemen op het gebruik door de mens. Ontwerpen worden getoetst aan een verscheidenheid van criteria, waarbij het lichamelijk en geestelijk welbevinden van de gebruiker voorop staat.

H. F. Mulder

*Werkgroep Ergonomie
Technische Hogeschool Twente*

Van dagelijkse ervaring naar technologische bezinning

Zelfs na enkele maanden is het gebruik van mijn nieuwe kabelslot geen gemakkelijk verlopende handeling geworden, het gaat niet als vanzelf. Twee gladde einden moet ik vasthouden en sturen, tegelijk moet ik het sleuteltje ingestoken houden en omdraaien. Ik wens mijzelf dan een derde hand toe, als ik al niet iets anders mompel. Alleen motorisch begaafde mensen hebben bewegingen zoals hier bedoeld snel in de vingers. Blijkbaar is de constructie van het ding niet aangepast aan de bewegingsvaardigheid van gewone mensen.

Bestijg ik de trappen naar mijn kamer, dan merk ik hoe gemakkelijk dat gaat. De optrede is 16,5 cm en de aantrede 25,7 cm. Blijkbaar heeft de architect rekening gehouden met menselijke afmetingen en bewegingsvaardigheden. Maar dezelfde man heeft bijzondere ramen gewrocht. Mijn kantoorkamer heeft onder en boven ramen, die onafhankelijk verschuifbaar zijn. Wil ik de ventilatie regelen, dan kan ik het bovenraam wat laten zakken, het onderraam naar boven schuiven, of van alle twee een beetje.

Het opschuiven gaat nog wel, hoewel de handgreep niet bepaald lekker ligt. Nadeel van deze regeling is dat bij een beetje wind de papieren van mijn tafel wapperen. Bovendien is de ventilatie niet zo effectief als met behulp van een opening nabij het plafond. Maar wil ik het bovenraam laten zakken, dan zou ik tangen aan mijn hand moeten hebben in plaats van vingers. Weliswaar kunnen vingertoppen worden geperst in de lijst die dient om het raam te verschuiven, maar je kunt op die manier geen kracht zetten. Hoe zou het beter hebben gekund? Bijv. met grepen zoals die standaard in de handel zijn, de meeste zijn voldoende aangepast aan de vorm van de menselijke hand en aan de richting waarin kracht moet worden uitgeoefend.

Sommige zakrekenmachientjes hebben vingertoetsen waarvan je je afvraagt welk mens die gemakkelijk kan bedienen. Wil je met een rolstoel het trottoir op, dan merk je dat dat bijna nergens mogelijk is en helpers moeten veel kracht zetten en/of acrobatentoeren verrichten om deze vaak voorkomende manoeuvre te doen gelukken. Noch rolstoel noch trottoir zijn voor dit soort activiteiten ingericht.

Zijn er in de trottoirband plaatselijk hellingen aangebracht, ten behoeve van kinderwagens en rolstoelen, dan voldoen die soms ook niet aan redelijke eisen ten aanzien van rijcomfort: te steil of er ligt een goot voor waar de wielen in blijven steken. Wie verzucht nooit eens: 'Hadden ze dat niet anders kunnen maken? Waarom gaat dat ding zo moeilijk of gevaarlijk?'

Is het met de aanpassing van de dagelijkse arbeid aan de mens veel beter gesteld? Zelfs een vluchtig bezoek aan welke organisatie dan ook levert ons interessante beelden op, zie bijv. de foto's op pag. 6 en 7. Een situatie bekijken we wat nauwkeuriger, een bedieningsorgaan van een hijskraan die bestuurbaar is vanaf de grond (zie foto onder).



Boven: Een ergonomisch onverantwoord bedieningsorgaan van een hijskraan (zie tekst).

Een balkje met knoppen hangt aan een kabel waardoor de commando's worden gestuurd naar de motoren die de kraan laten rijden in twee loodrecht op elkaar staande richtingen: achter-voor en links-rechts. Hijsen en zakken (strijken) kan op twee manieren: grof (snel) en fijn (langzaam). Voor elk van deze acht bewegingen is een bedieningsknop aanwezig. Gestart wordt door IN in te drukken en gestopt wordt met de UIT-knop. Dit bedieningsbalkje voert tot vele fouten en wel:

- doordat het aan een kabel hangt draait het ten opzicht van de bewegingsassen van de kraan. Daardoor is het voor de bedieningsman niet steeds duidelijk wat na een uitgevoerde beweging links of rechts, voor of achter is;
- door de veelheid van knoppen die identiek zijn en waarvan de relatie met de bewegingen niet vanzelf duidelijk is, worden gemakkelijk verkeerde knoppen ingedrukt.

In de gegeven voorbeelden ging het om technische systemen, maar ook bij bureau-arbeid valt het een en ander op te merken. Allerlei administratieve taken bestaan voor ca. 30% van de werktijd uit lezen. De lichaamshouding daarbij is slecht. Ook op school hebben kinderen vaak een zeer slechte houding bij lezen en schrijven (zie Fig. 1).

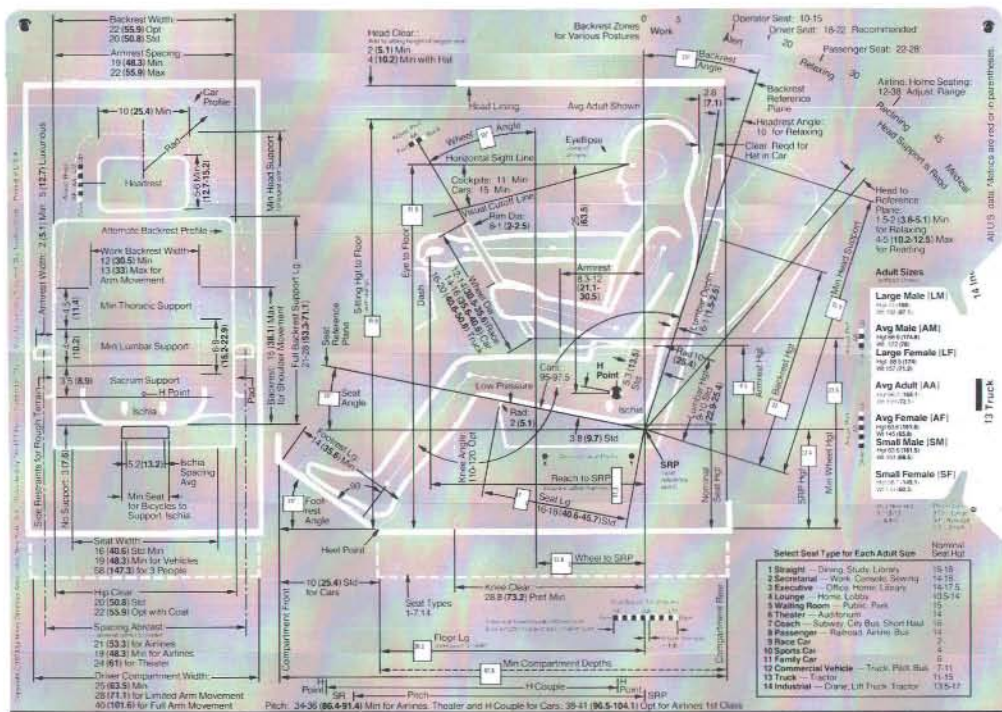
Wie wel eens een meet- en regelkamer heeft bezocht en daar panelen heeft gezien met vele meters, knoppen, handeltjes, lampjes, zal zich onwillekeurig hebben afgevraagd: 'Hoe vind je de weg in die hoeveelheid van gegevens?' Of nog verder doordenkend: 'Hoe groot is de kans op fouten wanneer bij een alarm uit de vele aanwijzingen de beslissende handeling moet worden verricht en feilloos uitgevoerd?'

Een voorbeeld is het afdrucken van alarmboodschappen op een automatische schrijfmachine in een chemische fabriek. Vaak ziet men de boodschappen in chronologische volgorde onder elkaar eruit komen. Wanneer er een storing optreedt in een bepaald gedeelte



Onder: Een groot deel van ons leven brengen we zittend door. Voor zitmeubelen bestaan uitvoerige ergonomische richtlijnen. We geven hier een voorbeeld van een soort rekenschema die gebruikt kan worden voor het ontwerpen van o.a. autostoelen. Door aan

de schijf te draaien kan deze worden ingesteld op verschillende lichaamslengten, in de vakjes verschijnen dan de aanbevolen maten en hoeken die daarbij passen. Dergelijk soort schijven bestaan o.a. ook voor het construeren van rolstoelen.



2^a Humanscale Seating Guide

van de fabriek, dan zal een aantal karakteristieke alarmboodschappen worden gegenereerd, die voor een ervaren operator grotendeels voorspelbaar zijn. Daardoor zal hij niet meer de moeite nemen om ze allemaal zorgvuldig te lezen, hij weet toch wel wat er aan de hand is. Stel nu dat er tegelijkertijd een gevaarlijke situatie in een ander deel van de fabriek optreedt. Dan is de kans heel erg groot dat dit juist de ervaren operator ontgaat! Men kan dit bijv. ondervangen door de boodschappen van verschillende delen van de fabriek op verschillende plaatsen te laten inspringen. (Rijnsdorp, 1979). Op deze wijze heeft men de informatiepresentatie aangepast aan de manier van denken en reageren van de operator.

Rechts: Steeds meer mensen werken in een kantooromgeving vrijwel dagelijks samen met computerterminals. Aan de ergonomische aspecten moeten hoge eisen worden gesteld (zie Intermezzo II).

Onder: In een meet- en regelkamer is het erg belangrijk dat de informatie overzichtelijk wordt aangeboden. In de situatie op de foto wordt op de panelen teveel informatie aangeboden en bovendien is de console te laag om er gemakkelijk aan te zitten.





Links: Twee voorbeelden van plaatskaartenautomaten: links in Stuttgart en rechts in Zoetermeer. Ze hebben beide dezelfde functie, maar de automaat in Zoetermeer is door het ergonomisch ontwerp veel handiger in het gebruik.

We zijn bij de voorgaande verkenning van handelings- en bewegingskenmerken in de relatie mens-apparaat in feite bezig geweest met twee probleemgebieden binnen de *ergonomie*. In de aangehaalde voorbeelden en situaties ziet u voorbeelden van problemen die u vermoedelijk zelf met vele andere kunt uitbreiden. In deze gevallen is geen, of onvoldoende, rekening

gehouden met:

- *afmetingen van de mens*, diens bewegingsapparaat en de krachten die hij kan opbrengen zonder zich te forceren. In vele arbeidssituaties kan de lichaamshouding bij het werk op de lange duur tot schadelijke gevolgen leiden. Bovendien wordt door onvoldoende afstemming op de mens de kans op ongevallen vergroot;

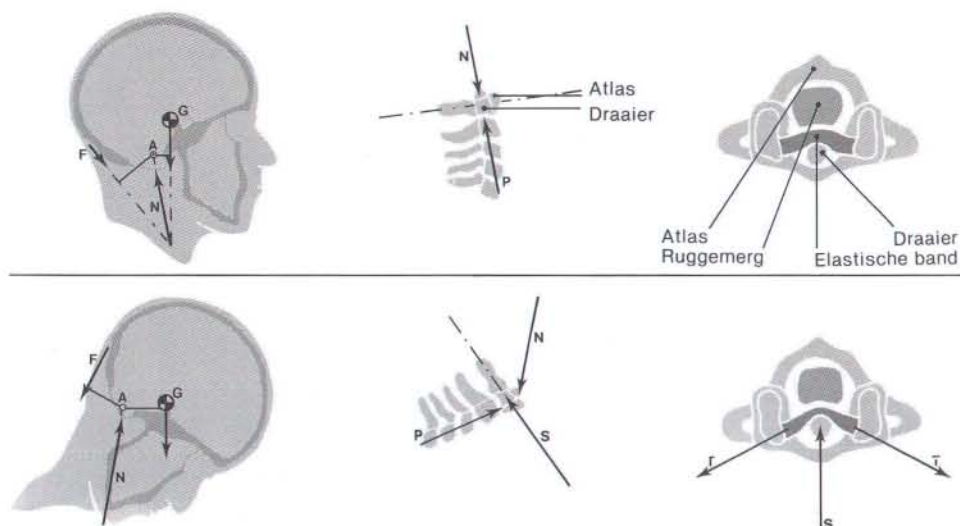


Fig. 1. De lichaamshouding bij lezen en schrijven is vaak erg slecht. Door een gebogen houding wordt de nek overmatig belast, hetgeen kan leiden tot hoofdpijn en concentratiestoornissen. De figuur boven geeft een geschematiseerde voorstelling van het statisch krachten- en momentenevenwicht in het hoofd. Bij een voorover gebogen

hoofd wordt de kracht (F) in de nekspieren verdrievoudigd, doordat de werkmarm van G t.o.v. de gewrichtsas A groter wordt. De dwarskracht (S) tussen de draaier en de getekende elastische band komt in de geheven stand van het hoofd niet of nauwelijks voor. N en P zijn reactiekrachten in de gewrichten (bot-op-bot kracht); T is de kracht in de elastische band.

— de hoeveelheid of manier van *informatieverwerking* door de mens.

Dit zijn de anatomisch-fysiologische en antropologische, resp. psychologische aspecten van de ergonomie. *De ergonomie is een technologie waarbij aandacht wordt gegeven aan de afstemming van technische systemen op de mens, met als doel het geestelijk en lichamelijk welbevinden van de mens in zo'n systeem te bevorderen.*

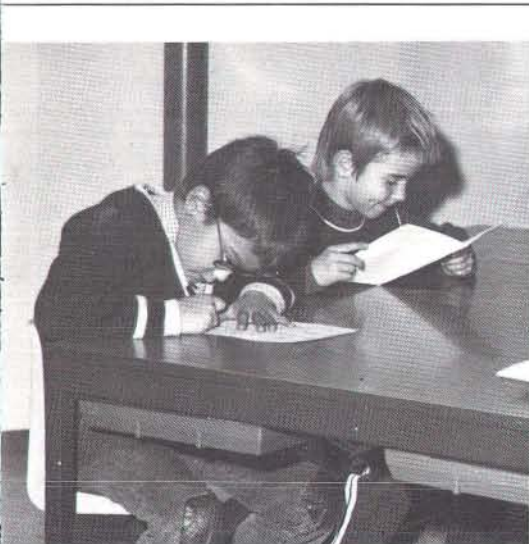
Het woord ergonomie bestaat uit afleidingen van twee Griekse woorden: *εργον* (werk) en *νομος* (wet, regel). De meningen over inhoud en begrenzing van de ergonomie lopen uiteen. In een beperkte opvatting gaat het om aan de mens aangepast ontwerpen van machines en produkten, een ruimere visie betreft ook de werkomgeving erbij. Bij een nog ruimere opvatting worden taak- en organisatiestructuren mede in acht genomen.

INTERMEZZO I

Ergonomie en wetgeving

Het Belgische 'Voorkomingsbeleid' regelt sinds 1975 vele aspecten van de Veiligheid, Gezondheid en Verfraaiing van de werkplaatsen (VGV). Het gaat

om meer aandacht dan voorheen voor de materiële ongevallen. Voorts wordt dwingend voorgeschreven: de aanpassing van de arbeidsplaats, de werktuigen, de machines, de werkuren en de omgeving aan de eisen van de mens (ergonomie!). Ten behoeve van de realisatie zijn procedures en organisatievormen voorgeschreven, die door de bedrijven moeten worden aangewend, bijv. bij het bestellen en in gebruik nemen van nieuwe machines.



De schakels blikrichting, lichaamshouding en leesafstand kunnen tot een gesloten kinematische keten worden gecombineerd. Zo'n model geeft een mogelijke aanpak van de problematiek: een in schuifte verstelbare lezenaar, zoals ze vroeger werden gebruikt door klerken en kloosterlingen (naar Snijders, C. J., 1977).

De belangstelling voor de afstemming van technologisch ontwerpen op menselijke mogelijkheden, beperkingen en behoeften, is niet van vandaag of gisteren. Maar er zit een ontwikkeling in, onder andere veroorzaakt door:

- de snelle ontwikkeling van de technologie; sommige systemen bleken ondanks strenge selectie en intensieve training van het bedieningspersoneel niet goed of niet foutloos bestuur- of bedienbaar te zijn. Ongevalsanaly-

se bracht nogal eens aan het licht dat bedieningsfouten ontstonden door gebrekkige aanpassing van het systeem aan menselijke mogelijkheden en beperkingen;

- het feit dat constructeurs hoe langer hoe verder (ruimtelijk en psychologisch) verwijderd raakten van de gebruikers van de door hen geconstrueerde machines;
- de toenemende aandacht voor de kwaliteit van de arbeid; die wordt o.a. zichtbaar in de wetgeving op dit gebied (zie Intermezzo I).

Criteria en normen

Ten behoeve van de afstemming van technische systemen op de mens worden criteria en normen gehanteerd. Globaal aangeduid zijn dat:

Fysiologisch-anatomische en psychologische criteria

- arbeidshygiëne: temperatuur, vochtigheid, geluid, verlichting, verontreinigingen;
- menselijke afmetingen, houdingen en bewegingen;
- mentale belasting (informatie en emoties);
- bevrediging van menselijke behoeften.

Technische criteria

- effectiviteit;
- efficiëntie en produktiviteit, rendement;
- kosten;
- tijdsduur voor het verrichten van het werk (een subcriterium van de kosten);
- kwaliteit van het geleverde werk; zowel tijdsduur als kwaliteit zijn mede afhankelijk van waarnemings-, beoordelings- en bedieningsgemak;
- veiligheid;
- onderhoud.

Het Belgisch Staatsblad 11354 (3-10-1978) schrijft dat de taken van de diensthoofden voor VGV aanzienlijk zijn toegenomen en complexer zijn geworden door het voorkomingsbeleid, en formuleert daarom de verplichting tot aanvullende vorming van deze functionarissen. Er worden cursusprogramma's aangegeven, niveau's, basiskennis. In het kader van dit artikel is het van belang te weten dat specifiek worden uitgediept: problemen van de veilig-

heid, hygiëne en humanisering van de arbeid, de ergonomie in haar praktische aspecten (zie voor de Belgische situatie bijv. Verhagen, 1979). Nederland zal binnenkort de internationale trend naar verbetering van arbeidssituaties volgen wanneer de Arbeidsomstandigheden Wet zal zijn aanvaard en in werking getreden. Het wetsvoorstel vertoont overeenkomsten met de Noorse, Duitse en Belgische wetgeving.

Met de toetsing van een ontwerp aan de bevrediging van behoeften hebben we de grens van de ergonomie tamelijk ruim gelegd. Mijns inziens moeten we in de toekomst naar een nog verdere grensverlegging, namelijk meer dan tot nu toe gebeurt moeten allerlei maatschappelijke aspecten mede in beschouwing genomen worden. Vragen zullen aan de orde moeten komen als: 'Wat gebeurt er met een produkt in de wegwerpfase?', 'Wat gebeurt er met de produktie-installatie als deze aan vervanging toe is?', 'Hoe vallen produktieproces en de produkten in het sociaal-economische, sociaal-psychologische, fysische milieu?' Dat zal neerkomen op uitbreiding van de hiervoor genoemde criteria met een aantal van sociale aard:

Maatschappelijke criteria

- ecologische aanpassing;
- technologie passend in de van kracht zijnde werkgelegenheidspolitiek.

Worden de grenzen van ergonomie zo ruim getrokken, dan past mijns inziens het woord ergonomie niet meer. Misschien moeten we dan van ecotechniek (of van iets anders) gaan spreken. Intussen zijn hulpmiddelen voor een zeer breed opgezet technologisch ontwerp in ontwikkeling, zoals op het gebied van aspectenonderzoek (of technology assessment) en van communicatie op grote schaal tussen deskundigen en betrokkenen.

Normen in de praktijk

Als criteria de maatstaven zijn - de meetstokken - die je hanteert bij de beoordeling van een project, dan zijn normen de maten op die stokken die iets zeggen over het wel of niet aanvaardbaar zijn van een bepaald gegeven. Denk op het gebied van verontreinigingen bijv. aan MAC-waarden, dat zijn Maximaal Aanvaarde Concentraties (zie ook Wink e.a., 1979). Zo bestaan er ook normen voor klimaat (de combinatie van temperatuur en vochtigheidsgraad), verlichting, straling, trillingen en lawaai. Op dit laatste gaan we wat nader in.

Blootstelling aan veel lawaai heeft gehoorverlies tot gevolg. Dit geldt in zijn algemeenheid. Men heeft veel onderzoek gedaan naar de details met betrekking tot soorten lawaai en de aard van de effecten. Men onderschat vaak de nadelige invloed van lawaai. Bovendien is het proces van achteruitgang vaak zeer geleidelijk. Welke frequenties het lawaai ook heeft de achteruitgang van het gehoor is altijd het grootst tussen 2000 en 6000 Hz.

De grens, waar beneden geen beschadiging van het gehoororgaan zal optreden, ligt niet voor alle mensen op dezelfde plaats. In het algemeen kan men echter stellen, dat beneden 85 dB(A) geen beschadiging zal optreden. Dit geldt bij een blootstelling van 8 uur per dag en 5 dagen per week. Met geluidsmetingen heeft men de zgn. 'damage risk lines' bepaald, waar-



Links: Een koppelwagen van de N.S. met een aangebouwde instelautomaat voor de koppeling. Na ergonomisch herontwerp (rechts) is een koppeling veel gemakkelijker uit te voeren.

Rechts: Bij een te hoog lawaai-niveau moeten oorbeschermers worden gedragen. Dit is echter geen ergonomische oplossing, immers niet de techniek maar de mens wordt aangepast. Bovendien leidt het tot eenrichtingscommunicatie, hetgeen niet voldoet aan de menselijke behoefte aan contact.



boven men niet mag komen, wil men blijvende schade vermijden. Uit figuur 2 blijkt dat de gevarengrens voor hoge frequenties (sissende, fluitende, snerpande geluiden) lager ligt dan voor lage frequenties (bromgeluiden).

Bij kortstondige blootstelling aan lawaai kan tijdelijke doofheid optreden. Naarmate de geluidsdruk lager is kan de tijdsduur langer zijn, voordat er blijvende doofheid ontstaat. Ook al wordt er rekening gehouden met deze fysiologische grens, dan kan lawaai nog steeds kwaad!

Een voorbeeld van 'richtlijnen in ontwikkeling' heeft betrekking op beeldstations. Daarop gericht onderzoek gebeurt door het Instituut voor Zintuigfysiologie (TNO), de Werkgroep Ergonomie van de TH Twente en andere instituten. In dit verband betekent het gebruik van het woord 'beeldstation' meer dan een taalkundige variatie. We geven er onder andere mee aan dat bij de invoering van beeldschermen de hele werkplek in het geding is en in ogenschouw moet worden genomen. Daarbij is het vooral zaak aandacht te geven aan de samenstelling van de takenpakketten van de verschillende werkers. In Intermezzo II gaan we wat nader in op enkele aspecten van een beeldstation.

Zoals hopelijk duidelijk zal zijn hangen eisen en normen mede af van het geheel van activiteiten waarvoor een werkplek wordt ontworpen. Aan de hand van deze opmerking

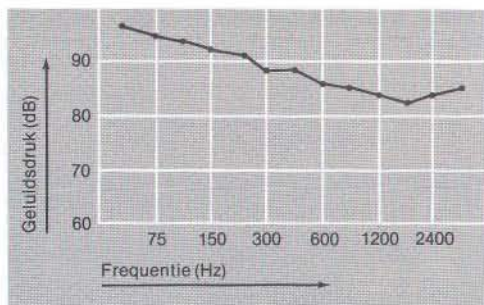


Fig. 2. De zgn. 'damage risk lijn' die het verband tussen de geluidsdruk (dB) en de frequentie (Hz) weer geeft.

blikken we even terug naar de eerder gestelde begrenzingen van het probleemveld van de ergonomie. Zou een terminalwerkplek ontworpen zijn, uitsluitend binnen de begrenzing van het systeem mens-terminal, dan stellen we ons geen vragen over de structurering van de (overige) activiteiten, waarvan het terminalwerk een deel is. Doen we dat wel, dan ontdekken we dat meerdere combinaties van handelingen kunnen worden gevormd. Daarbinnen zijn dan broodnodige afwisseling van hou-

Pictogrammen



Bagage-afgifte



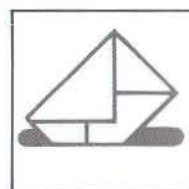
Eerste hulp



Uitgang



Ingang



Brievenbus

Fig. 3. Een onderwerp waar ergonomen zich vrij uitvoerig mee bezig houden is dat van de zgn. *pictogrammen*, afbeeldingen die zonder tekst informatie geven aan het publiek. Pictogrammen hebben twee belangrijke voordelen boven een aanduiding d.m.v. tekst: de herkenbaarheid op afstand is groter en picto-

ding en beweging mogelijk. Hiermee komen we dan terecht bij de problemen van de taaktoewijzing, met het oogmerk mens-machine-systemen te optimaliseren naar technisch-economische en sociale criteria.

Hierbij spreken we de overtuiging uit, dat de bevrediging in werk en in werkomgeving en het behoud van lichamelijke en geestelijke gezondheid ook als waarden op zich moeten worden nagestreefd. In het bijzonder denken we hier aan de menswaardigheid van de taak. Menswaardigheid is echter niet het enige criterium, en aan het maken van keuzen is niet steeds te ontkomen. We zullen aan de hand van een voorbeeld pogen te verhelderen hoe men een optimaal mens-machine-systeem tracht te realiseren. Eerst bespreken we echter de algemene gang van zaken bij het ontwerpen.

Ergonomisch verantwoord ontwerpen

Een methodische ergonomische analyse van een mens-machine-systeem kan betrekking hebben op onderzoek en verandering van bestaande situaties (*correctieve* ergonomie) of op het ontwerpen van een nog te realiseren systeem (*preventieve* ergonomie). Uit het voorgaande zal duidelijk zijn geworden dat in beide gevallen met een verscheidenheid van invloedsfactoren rekening moet worden gehouden en een (her)ontwerp aan een veelheid van criteria moet worden getoetst.

Een dergelijke veelomvattende analyse - zeker van een nog te ontwerpen systeem - is een nagenoeg onbegonnen werk indien niet vanaf het eerste begin methodisch te werk wordt gegaan. De Werkgroep Ergonomie van de Technische Hogeschool Twente heeft op basis van literatuur en eigen onderzoekservaring geleidelijk een methodologie ontwikkeld voor technisch ontwerpen in ergonomisch perspectief (zie Bosman, 1976). Deze is erop gericht een technologisch ontwerp in fasen te ontwikkelen. Daarbij wordt in elke fase aandacht gegeven aan de wisselwerking tussen enerzijds het probleem en de structurering ervan, en anderzijds de dynamiek van het groepsproces met de 'betrokkenen'. Globaal onderscheiden we de volgende fasen:

Fase 1: Probleemdefinitie

— Oriëntatie: een zo nauwkeurig mogelijke omschrijving van het probleem of van de ontwerpopdracht, van de doelstellingen, achterliggende waarden en motieven van de betrokkenen en van voorstellingen betreffende mogelijke oplossingen.

— Structurering van het probleem en van het overlegproces, vaststelling van criteria.

— Exploratie van alle eisen, functies van het systeem, randvoorwaarden, sociale condities die van belang kunnen zijn. Opsporing van de mogelijkheden die er zijn om de problemen op te lossen.



Roltrap



Roltrap



Telefoon



Café



Vliegveld

grammen zijn onafhankelijk van de talenkennis der gebruikers. Speciaal op plaatsen waar veel vreemdelingen verkeren en informatie zoeken, bewijzen zij hun grote nut. De figuur laat een aantal pictogrammen zien die in gebruik zijn op de luchthaven van Frankfurt.

Normen voor beeldstations

De verlichting

In het algemeen kan normale kantoorverlichting worden aangehouden, d.w.z. ca. 500 lux; voorkom spiegeling van licht afkomstig van ramen, armaturen, toetsen of andere voorwerpen. De luminantie van het directe werkvlak dient zich tot die van de naaste omgeving en van de ruimere werkomgeving te verhouden als 10:3:1.

Het beeldscherm

Lettergrootte: bij leesafstand 50 cm: letter 3 mm, bij 75 cm: 5 mm. Bij 75 cm afstand wordt vaak 3 mm genomen; dat is erg krap vanwege de kleine blikhoek van 15 boogminuten.

Lettervorm: een lettermatrix van 5 x 7 is marginaal, vooral bij toenemende tekengrootte. 7 x 9 is acceptabel, 9 x 12 is goed. Voor doorlopende tekst: kleine letters plus hoofdletters; voor korte stukjes tekst: hoofdletters.

Het beeldscherm moet bij voorkeur kantelbaar zijn.

Het toetsenbord dient los te zijn van het beeldscherm.

Tactiele of auditieve terugkoppeling, om er zeker van te zijn dat een teken is ingetoetst, is noodzakelijk.

Lichaamshouding en beweging

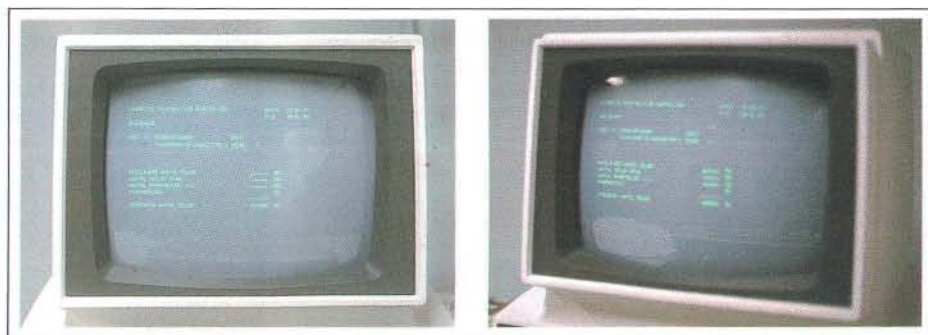
Of de stoel of het werkblad moet verstelbaar zijn in hoogte. De stoelhoogte moet variabel zijn van 42 tot 52 cm (DIN 4551). Het tikblad met daarop het toetsenbord is in het ideale geval 68 cm hoog, indien verstelbaar, dan tussen 63 en 78 cm hoog. Bij typen moet de onderarm zich horizontaal bevinden.

De werker

Voor leesbrildragers is de veel gebruikte afstand oog-scherm van 50 à 70 cm onplezierig. De normale leesafstand bij kantoorwerk is ± 33 cm. Veraf zien geschiedt vanaf 80 à 100 cm. Gebruikers met dubbelfocus brillen dreigen zich onnatuurlijke werkhoudingen aan te wennen. Dit gebeurt met name als men het scherm met de onderste helft, de leesbril, probeert af te lezen. Een werkbril ten behoeve van beeldschermgebruik is geen ergonomische, maar een desnoods bruikbare oplossing.

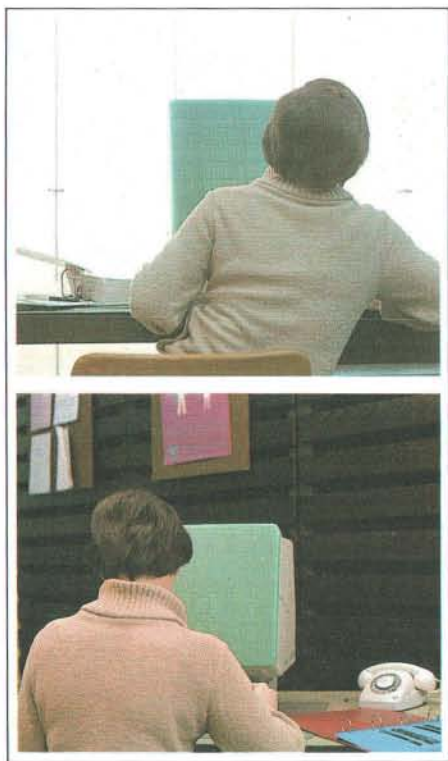
De afstand werker-beeldscherm

Redenen om de werkafstand iets groter te kiezen dan voor normaal leeswerk zijn: er moet ruimte zijn voor het toetsenbord; bij een lees-



Boven: Reflecties op beeldschermen geven stoerbeelden, waardoor het oog voortdurend geneigd is te accommoderen. Links is scherpgesteld op de tekst op het scherm, rechts op het reflectiebeeld.

afstand van 30 cm of minder heeft men meer last van beeldflikkering; het oog is bij een kijkafstand van ± 80 cm minder geacommodeerd en dus minder gespannen (het lezen is dan niet zo vermoeiend); een grotere afstand biedt meer mogelijkheden tot houdingsvariatie en meer mogelijkheden tot de organisatie van de overige werkattributen.



Boven: Vaak leiden grote verlichtingsverschillen tussen werkpost en achtergrond tot klachten over oogvermoeidheid. Een goede werkhouding, een passende werkomgeving en verlichting zijn belangrijk voor een beeldstation.

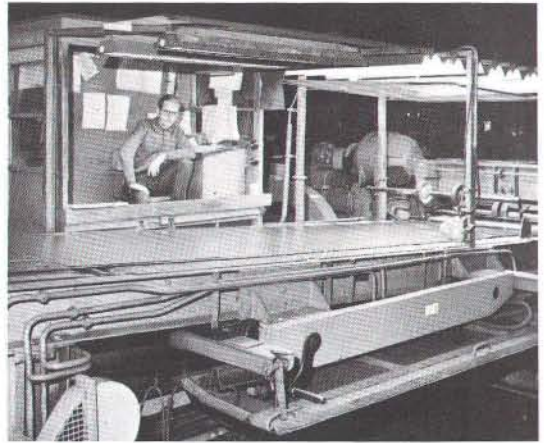
Fase 2: Werkwijzebepaling

— Onderzoek. Naast andere, niet specifieke ergonomische technieken, is essentieel de zgn. functionele analyse. De doelstelling van het te ontwerpen mens-machine-systeem wordt uitgewerkt in een programma van eisen. Daarvan worden te realiseren functies afgeleid, dat zijn acties door middel waarvan een doel wordt bereikt. Een uitputtende beschrijving van alle handelingen is noodzakelijk om activiteiten te verdelen over mensen en machines. Deze activiteiten zijn: informatie verzamelen, ordenen, vergelijken met richtlijnen, conclusies trekken, naar aanleiding daarvan acties ondernemen. Deze hoofdfuncties worden onderverdeeld in concrete handelingen.



Boven: Bij het ontwerp van de 'praatpaal' is zowel aan de vormgevingstechnische als aan ergonomische aspecten zeer veel aandacht geschonken. De hoogte is zodanig dat ook kleine personen de paal kunnen bedienen. Daardoor en mede door de plaatsing van de beide luidsprekers blijft ook bij hoge lawaai-niveaus de verstaanbaarheid goed.

Bij de Koninklijke Nederlandse Hoogovens en Staalfabrieken te IJmuiden worden oppervlakten van gewalste platen gecontroleerd. De werkplek van de plaatcontroleur voldeed niet meer en werd herontworpen. Links de werkplek voor en rechts na de verandering. Let o.a. op de verlichting.



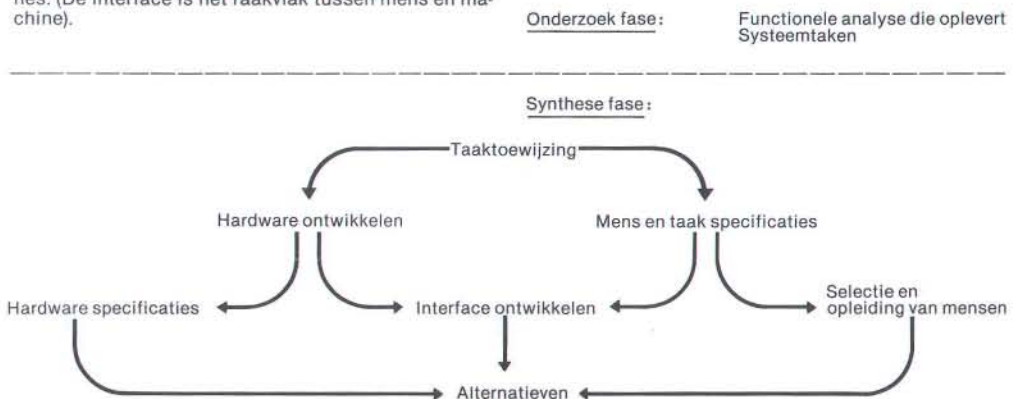
– Synthese. De handelingen gevonden in de vorige fase worden op verschillende wijzen gegroepeerd zodat enkele alternatieve mens-machine-systemen in grote lijnen vorm krijgen (zie bijv. Fig. 4). Voor de toewijzing van functies aan mensen en middelen worden de in handboeken, normbladen en richtlijnen beschikbare gegevens gehanteerd. Een voorbeeld van keuzemogelijkheden levert de taaktoewijzing bij een chemische analyse. Deze kan zowel geheel met de hand als volledig automatisch uitgevoerd worden. Er bestaan ook tussenvormen, waarbij bijvoorbeeld de monsterneming door mensen gedaan wordt en verdere analyse

met behulp van een apparaat geschiedt.

– Confrontatie. Voor een aantal betrokkenen is wat in de voorgaande fasen is gebeurd in een aantal abstracties vastgelegd: tekeningen, beschrijvingen, specificaties enz. Velen kunnen zich aan de hand daarvan moeilijk een voorstelling vormen wat het in de praktijk allemaal betekent. Confrontatie van betrokkenen met een zo mogelijk op ware grootte vervaardigde maquette (mock-up) van een ontwerp bewijst dan goede diensten.

– Keuze. De confrontatie leidt de keuze uit alternatieven in. Uiteraard participeren de betrokkenen bij het keuzeproces.

Fig. 4. Een schema van de verdeling (toewijzing) van functies (handelingen, taken) over mensen en machines. (De interface is het raakvlak tussen mens en machine).





Ontwerpen; een praktijkvoorbeeld

Om te zien hoe deze systematische aanpak in de praktijk uitpakt, beschrijven we nu het herontwerp van de Centrale Meldkamer (CMK) van de spoorwegrecherche van de Nederlandse Spoorwegen. Daarbij volgen we de lijn van onze fase-indeling.

Fase 3: Vormgeving

– Uitwerken van het ontwerp. Na de groepsprocessen van eerdere fasen is dit een meer individuele activiteit. Er worden nog slechts detailbeslissingen genomen die te maken hebben met constructiemogelijkheden.

– Uitvoering van het ontwerp. Allerlei praktische bezwaren kunnen het werken volgens de geschetste ontwerpmethodologie belemmeren. Wat is er minstens nodig om elke gebruikelijke ontwerpmethodologie toch nog een ergonomisch accent te geven? Naar mijn mening is dat een systematische confrontatie van de betrokkenen met een mock-up. Gesteld voor moeilijke beleidsbeslissingen - en bij het ontwerpen van produktiesystemen van enig belang kom je al gauw voor onoverbrugbare tegenstellingen te staan - is een forum van betrokkenen voorlopig een van de weinige aanpakken die ons ter beschikking staan.

Gelukkig wordt aan de ontwikkeling van andere hulpmiddelen gewerkt. Er zijn geavanceerde methoden voor waarde- en risicoanalyse en verschillende technieken voor Operations Research die of reeds bruikbaar zijn voor onze doelen of dat binnen niet al te lange tijd zullen worden. Bovendien komen meer en meer 'harde' ergonomische gegevens ter beschikking. De grote behoefte aan internationale normen zal nog wel lang blijven bestaan.

Probleemdefiniërende fase

De spoorwegrecherche is de bedrijfspolitie van de NS en heeft als voornaamste taak: het beschermen van de belangen van de NS en haar klanten. Om dit werk te kunnen verrichten beschikt zij over ruim 200 man, verdeeld over 6 rayons en een hoofdbureau te Utrecht, waartoe de CMK behoort. De rayons behartigen zelfstandig de directe taakuitoefening, het hoofdbureau de centrale (staf)activiteiten (opleiding, planning op lange termijn, coördinatie). In elk rayon is een 'Algemene Dienst', die op de actuele situatie is gericht. Hieronder ressorteren een regelcentrum en surveillancepatrouilles.

De CMK valt onder het Berichten Centrum, een staforgaan dat korte-termijnnformatie behartigt. Een belangrijk aspect van de taak van de CMK is telecommunicatie. Door doelmatig gebruik hiervan wordt getracht nadelige gevolgen van onregelmatigheden (van 'baldadige jeugd' tot treinongevallen) te verminderen. Hiertoe worden activiteiten ontplooid, die voornamelijk bestaan uit het overdragen van informatie. Dat brengt contacten met een verscheidenheid en veelheid van instanties mee.

In de loop der jaren waren ten behoeve van een snelle verwerking van de wassende informatiestroom steeds meer hulpmiddelen in de CMK opgesteld. Het werken daarmee werd steeds moeilijker zodat op een zeker moment werd besloten zoveel mogelijk apparatuur in één groot paneel onder te brengen. De vraag

INTERMEZZO III

Over de deelaspecten en het geheel

Hoe kan een verscheidenheid van gegevens tot een geheel worden verwerkt? Daarvoor bestaan verschillende technieken. Een ervan is de *lineaire multiple regressie*, waarmee de scheiding tussen groepen invloedsfactoren gemaximaliseerd wordt door middel van optimale weging van de onafhankelijke (verklarende) variabelen. De vergelijking krijgt de vorm:

$$Y = aX_1 + bX_2 \dots kX_k$$

leek eenvoudig: evalueer een voorlopig ontwerp met behulp van ergonomische criteria.

Bij de exploratie van het functioneren van regelcentra, patrouilles, CMK enz., bleken er naast antropometrisch-ergonomische vragen, ook organisatorische en functioneel-ergonomische problemen te bestaan. Overtuigend kwam naar voren dat die problemen niet los van de 'paneel'-vragen konden worden behandeld. Van de gesignaleerde problemen noemen we:

- In het telecommunicatieverkeer kunnen berichten op verschillende manieren geïnterpreteerd worden, dit veroorzaakt onzekerheid. De communicatie is niet steeds sluitend en ook niet altijd effectief;

- De rapportage en de verwerking hiervan is niet eenduidig, dit scheidt onvrede bij het verwerken. De binnengekomen informatie is moeilijk toegankelijk en dat werkt effectiviteit niet in de hand;

- De huidige huisvesting en inrichting is tijdelijk. Provisorisch aangebrachte voorzieningen verlenen onvoldoende comfort;

- Volgens NS-vuistregels voor overeenkomstige werkplekken was er onvoldoende gelegenheid tot rusten.

Voorts bleek dat bij centralisatie van het informatieverkeer (door invoering van een mobilofoonsysteem) bij de CMK het werkaanbod nog groter zou worden.

De Centrale Meldkamer (CMK) van de spoorwag-recherche van de Nederlandse Spoorwegen in Utrecht voldeed door de toenemende informatiestroom op den duur niet meer aan de gestelde eisen (zie foto rechts). Daarom werd besloten aan de hand van ergonomische criteria een nieuw ontwerp te maken. Dit leidde tot de constructie van een 'mock-up', waarbij de betrokkenen werden geconfronteerd met een op ware grootte vervaardigde maquette (uiterst rechts).



Betrokken op een mens-machine-systeem is Y de 'output' van dat systeem, tot stand komend onder invloed van de 'inputs' X_1 t/m X_k , waarvoor we in ons geval kunnen invullen: kenmerken van mensen en van machines. De coëfficiënten a t/m k geven de relatieve bijdrage weer van de inwerking van de onderscheiden 'inputs' op elkaar en daarmee aan de 'output' van het geheel.

Toegespitst op menselijk gedrag in organisaties

kan de formule omschreven worden als:

Gedrag wordt bepaald door het sociaal systeem, het technisch systeem en de maatschappelijke inbedding van deze systemen.

Het sociaal systeem kan omvatten: personen en persoonskenmerken, hun groepsverbanden, hun leiders met hun leiderschapsstijlen, het sociale systeem in engere zin, namelijk normen, waarden, posities en rollen.

Werkwijzebepalende fase

Op grond van interviews, tijdstudies en observaties en vergelijking daarvan met richtlijnen en voorstellingen over de gewenste toestand, werden binnen een geheel van een nieuw informatieverwerkend systeem, een aantal deelontwerpen, elk met hun eigen alternatieven, opgesteld. Op grond van een en ander werd besloten de CMK gedurende 24 uur per etmaal centraal te stellen in het telecommunicatieverkeer bij de incidentenafhandeling. De regelcentra worden gelijktijdig geïnformeerd en dragen zorg voor de uitvoering van de handelingen. Er werd een meldkaart ontworpen, die kan worden ingezet in de keten van in-

formatiedragers. Zo wordt de binnenkomende informatie geuniformeerd en de rapportage vereenvoudigd.

Alternatieven voor een nieuwe meldkamer werden voorgelegd aan betrokkenen. Bij de confrontatie bleek onder andere dat één vaste taakverdeling (die zou zijn vastgelegd door de opstelling van de apparatuur) niet in alle omstandigheden optimaal kan zijn. Dit voerde tot het besluit meerdere identieke werkplekken te realiseren. Hierbij werd mede overwogen, dat het primaire meldkamerwerk (telecommunicatie en rapportage) wordt verdeeld tussen de operators en elke operator over alle communicatiemiddelen moet kunnen beschikken.





Vormgevende fase

Voor het ontwerp werden de materiële middelen buiten de CMK als gegeven beschouwd. Het besluit identieke werkplekken in te voeren hield in:

- een twee-aan-twee rangschikking van de werkplekken, om desgewenst onmiddellijk de samenwerking van twee operators te kunnen realiseren;
- een flexibel intern informatiesysteem.

Op beeldschermen wordt informatie getoond omtrent de feitelijke inzet van patrouilles en omtrent de onder handen zijnde zaken. De toetsenborden kunnen zowel links als rechts worden geplaatst. Bij de vormgeving van de meldtafels en de rangschikking van de organen hierin werd gebruik gemaakt van criteria die in het buitenland hun nut hadden bewezen en van de NS-normen voor inrichting van personeels- en dienstverblijven.

Van het ontwerp werd een 'mock-up' gemaakt. In een voor de toekomstige behuizing representatieve ruimte werd dit bouwmodel aan de betrokkenen getoond. De inbreng, die met name van de CMK-operators kwam, behelsde de plaatsing van apparatuur op en rond de meldtafel. Uit de diversiteit van meningen van de operators werd een keuze gemaakt voor de definitieve indeling.

Het belang van sociale factoren

Hiervoor is aandacht gevraagd voor de noodzaak een verscheidenheid van aspecten in beschouwing te nemen wil men komen tot een ergonomisch verantwoord ontwerp van een mens-machine-systeem. Daarbij is het belang van sociale en organisatorische aspecten lange tijd niet voldoende onderkend. Zo werd bijv. enkele jaren geleden door een student een onderzoek ingesteld naar aanleiding van klachten over de werking van een centrale meet- en regenkamer. De problemen zouden van ergonomische aard zijn, namelijk een onvoldoende afstemming van de aangeboden informatie op de behoeften en het kunnen van de operators. Bij het onderzoek bleek die afstemming inderdaad niet optimaal te zijn, maar de klachten bleken toch meer een sociaal-psychologische dan een ergonomische achtergrond te hebben.

Zo bleek de ploeg met een democratisch leider tot betere resultaten te komen dan die met een autoritaire leider. In de eerste ploeg, waarvan de baas was gericht op samenwerking, bestond een doeltreffende uitwisseling van informatie en voorstellen, gepaard gaande met een frequent gebruik van instructie- en wachtboeken. In de tweede ploeg, waar de baas een soort verdeel- en heerspolitiek voerde, werden

De Centrale Meldkamer (CMK) van de spoorwegrecherche zoals deze er nu uitziet. Door een systematische aanpak is een ergonomisch verantwoorde werksituatie ontstaan die voldoet aan de eisen die door de informatiestroom en de verwerking ervan door de operateurs worden gesteld.

de instructies nimmer geraadpleegd, werd niets overlegd, noch iets voorgesteld, want 'de baas weet immers alles beter'.

Aan de factoren waarmee we bij ontwerpen rekening moeten houden en die we in het voorgaande betoog hier en daar hebben aangestipt, moeten we blijkbaar nog een factor toevoegen: leiderschapsstijl. Veelal zal dit meer tot de bedrijfspsychologie of -sociologie dan tot de ergonomie worden gerekend. Maar ergonomen kunnen aan het verschijnsel van verschillen in leiderschapsstijl niet voorbij gaan zonder kans op schadelijke consequenties. Reeds in de probleemdefiniërende fase dient eraan te worden gedacht, zie bovenstaand voorbeeld. Gedurende het verdere ontwerpproces kan de invloed van leiders en hun wijze van rolvulling doorslaggevend zijn voor het resultaat. Participatie van betrokkenen kan bijv. slechts een maximaal effect hebben bij een accepterende en innoverend (ofwel: op vernieuwing gericht) leiderschap. En bij de afweging van alternatieve oplossingen zal blijken dat het ene ontwerp - vooral gegeven de organisatorische inbedding - eerder bijv. autoritair leiderschap uitlokt (of ertoe noopt!) dan het andere. Het is dan ook niet te verwonderen dat in het voorstel van de Wet op de Arbeidsomstandigheden behalve op ergonomie de nadruk valt op humani-

sering van de arbeid. Dit wordt uitgewerkt in termen van een beroep op de verantwoordelijkheid van de werker en het zodanig inrichten van het werk dat de werknemer de mogelijkheid heeft zich ook in en door zijn arbeid te ontwikkelen. Er hoort mede toe: taakverruiming en inspraak over normstelling aangaande veiligheid en gezondheid.

Door deze aanvulling hebben we de ergonomie omschreven als een mensvriendelijke technologie met twee brandpunten. Het ene is: gegevens en normen op het gebied van mens-machine-systemen hanteren met de mens als uitgangspunt en als doel. Het tweede brandpunt is dan: creëren van een sociaal klimaat, dat wil zeggen participatie, verantwoordelijkheid, groei en ontwikkeling van de betrokkenen.

Literatuur

- Bosman, D., e.a., (1976). *Ontwerpen van meet- en regelkamers*. Mens en Onderneming, 30 (3), pag. 109-129.
- Berkel, P. L. M. van, e.a., (1977). *Bundel van de conferentie over Het werken met beeldschermterminals ergonomisch bezien*. Nederlandse Vereniging voor Ergonomie, Amsterdam.
- Kellerman, F. T., e.a., (1963). *Vademecum ergonomie voor de industrie*. Centrex, Eindhoven.
- Klinkhamer, H. A. W. (red.), (1968). *Beoordelingslijst ergonomie*. TNO, Leiden.
- McCormick, E. J., (1970). *Human Factors Engineering*. McGraw Hill, New York.
- Rijnsdorp, J. E., (1979). *Wat de ergonomie aan humanisering van de arbeid kan bijdragen*. Nederlandse Vereniging voor Ergonomie, Amsterdam.
- Singleton, W. T., Fox, J. G., Whitfield, D. (1971). *Measurement of man at work. An appraisal of physiological and psychological criteria in man-machine systems*. Taylor and Francis, London.
- Snijders, C. J., (1977). *De ogen als schakels tussen lichaamshouding en werkvlak*. Ergonomie, 2 (4), pag. 1-5.
- Wely, P. van en Willems, P., (1973). *Ergonomie: mens en werk*. Kluwer, Deventer.
- Wink, A., e.a., (1979). *MAC-waarden. Veilig ademen op het werk*. Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij, 5 (3). Stichting Biowetenschappen en Maatschappij, Leiden. Een uitgebreide literatuurlijst is op aanvraag verkrijgbaar.

Bronvermelding illustraties

- Fokker-VFW B.V.: pag. 2-3.
- IBM Nederland N.V.: pag. 2, 7 boven.
- Agfa-Gevaert N.V.: pag. 3, 14, 15 links.
- Repronika N.V. Philips: pag. 6 en 11.
- D. P. Rookmaker, Afd. Ergonomie, N.S.: pag. 7, 10, 18 en 19.
- F. F. Leopold, Instituut voor Perceptie Onderzoek, Eindhoven: pag. 15 rechts.
- J. Moraal, Instituut voor Zintuigfysiologie, TNA, Soesterberg: pag. 16 en 17.
- Nederlandse spoorwegen N.V.: pag. 20.



J. Kuijpers
*Sterrekundig Instituut
Utrecht*

Bij de foto:

Het buitenste deel van de zons-atmosfeer, de corona, is hier weer-gegeven met een kleurcodering die verschillende intensiteitswaarden aangeeft. De opname is gemaakt aan boord van Skylab in wit licht. Het beeldje van de zonschijf werd daarbij afgedekt in het brandvlak van de telescoop zodat een kunstmatige zonsverduistering ontstond. Links is een reus-achtige gasbel te onderscheiden die zich van de zon afbeweegt.



De actieve zon

De corona

De corona van de zon is een heet en ijl gas dat aan de basis voortdurend ververst en verhit wordt, terwijl de buitenste lagen in de vorm van de zonnewind met grote snelheid de interplanetaire ruimte instromen. In actieve gebieden op de zon kunnen zonnevlammen optreden, waarbij de corona gedurende korte tijd intens oplicht in het röntgen- en radiostralinggebied. Ook worden hierbij gasmassa's in

de corona naar buiten geslingerd waar ze schokgolven veroorzaken. In het eerste artikel hebben we onze aandacht gericht op de convectiezone en de fotosfeer waar de bewegingen van het gas het gedrag van het magnetisch veld bepalen. In dit artikel belichten we de corona waar magnetische krachten van overheersend belang zijn voor de dynamica van het (ijle) gas.

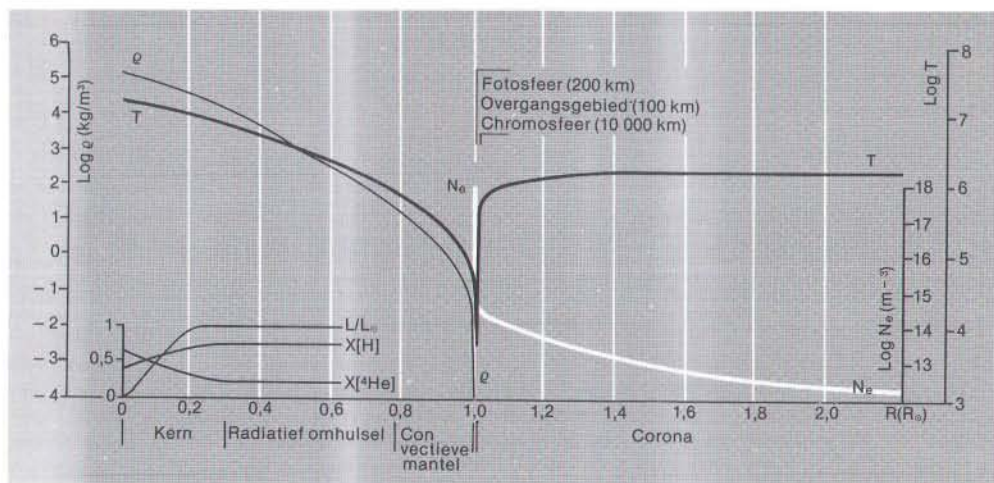
Inleiding

De corona van de zon is een heet en ijl gas. Aan de basis wordt dit gas voortdurend ververst en verhit, terwijl de buitenste lagen met grote snelheid in de vorm van de zonnwind de interplanetaire ruimte instromen. Magnetische velden spelen een grote rol in de energiehuishouding van de corona. De inhomogene structuur van dit omhulsel wordt voornamelijk door magnetische velden bepaald. Bijzonder spectaculair zijn de zonnevlammen: tijdens zo'n vlam licht de corona gedurende korte tijd intens op in röntgen- en radiostraling. Gas-massa's kunnen daarbij naar buiten worden geslingerd waar ze schokgolven veroorzaken. Deeltjes, die in de vlam zijn versneld, kunnen langs open veldlijnen het vlamgebied verlaten. De oorsprong van deze zonnevlammen ligt in

magnetische veldbuizen. Nadat deze buizen in de convectiezone zijn gevormd door gasstromingen rijzen zij uit de fotosfeer op en vinden in de ijle corona een nieuwe evenwichtsstructuur. Het overschot aan magnetische energie kan zich daarbij op explosieve wijze ontladen. In dit artikel gaan we nader in op de processen die in dit ijle coronale plasma optreden.

De corona

Tijdens een totale zonsverduistering, als de maan tussen de aardse waarnemer en de zon in staat (foto op pag. 26), of tijdens een kunstmatige verduistering vanuit een ruimtevaartuig (foto op pag. 37 boven) ontvouwt zich een zwak lichtend, uitgestrekt en stervormig ge-structureerd omhulsel, de corona van de zon.



Boven: Fig. 1. De fysische toestand van het inwendige en de atmosfeer van de zon als functie van de afstand tot het centrum in zonnestrallen. Uitgezet zijn de temperatuur T , de dichtheid ρ (kg/m^3) beneden de fotosfeer en de elektronendichtheid N_e (deeltjes/ m^3) boven de fotosfeer, de relatieve lichtkracht en het massapercentage waterstof $X[\text{H}]$ en helium $X[{}^4\text{He}]$. Enige waarnemingsgegevens voor de zon zijn:

Straal	$R_{\odot} = 6,96 \cdot 10^8 \text{ m}$
Massa	$M_{\odot} = 1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
Lichtkracht	$L_{\odot} = 3,83 \cdot 10^{26} \text{ J/s}$
Rotatiesnelheid op 16° breedte	$2,87 \cdot 10^{-6} \text{ rad/s}$
Spectrale type	G2 V

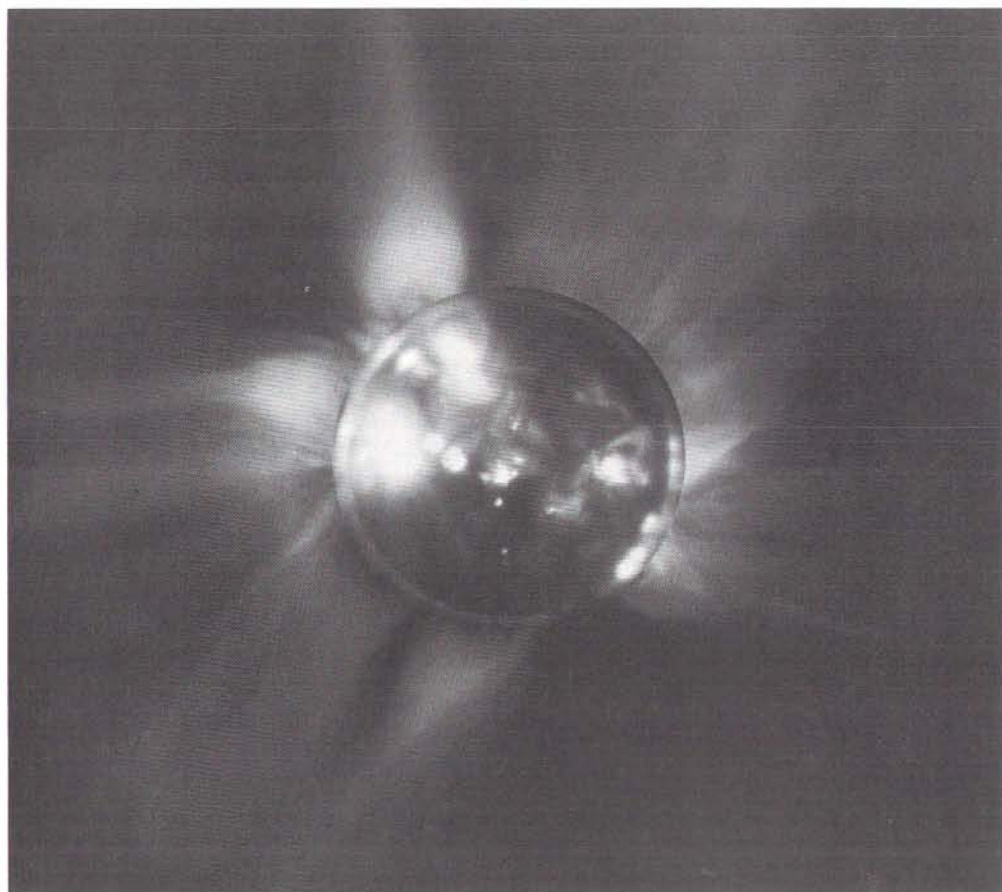
Rechts: Een samengestelde foto van de corona, bestaande uit een röntgenopname (bij een golflengte van 0,3-3,6 nm en 4,4-6,4 nm) genomen uit een raket op 7 maart 1970 en een wit-licht opname met een radiaal verzwakkend filter op dezelfde datum gemaakt tijdens de zonsverduistering te Mexico. De goede aansluiting tussen wit-licht structuren aan de basis en heldere röntgengebieden aan de rand is duidelijk waarneembaar.

Verhitting

Naast verstrooid fotosferisch licht vertoont het coronale gas emissielijnen afkomstig van hooggeïoniseerde elementen (bijv. Fe XVII). Dit houdt in dat de temperatuur van het coronale gas zeer hoog is ($1 \text{ à } 2 \cdot 10^6 \text{ K}$), veel heter dan de onderliggende fotosfeer (5800 K). Bij een dergelijke temperatuur is de waterstof volledig geïoniseerd en bestaat het coronale gas uit een verzameling van voornamelijk vrije elektronen en ionen, plasma genaamd. Het coronale plasma is blijkbaar zeer ijl in vergelijking met de fotosfeer ($n \approx 10^{19} \text{ m}^{-3}$). De dichtheid aan de basis is in de orde van 10^{16} deeltjes m^{-3} en neemt zeer langzaam af tot 10^7 deeltjes m^{-3} in de buurt van de aarde.

Merkwaardig genoeg neemt de temperatuur van de zon dus eerst naar buiten af (Fig. 1) tot

een waarde van 4000 K , het temperatuurminimum, om in een dunne laag, de chromosfeer (dikte $\approx 10^4 \text{ km}$), toe te nemen tot 10^4 K en vervolgens over een zeer korte afstand (100 km) tot een waarde van 10^5 K en, op nog grotere hoogte, tot $2 \cdot 10^6 \text{ K}$ in het temperatuurmaximum in de corona (op een hoogte van één zonsstraal boven de fotosfeer). De verklaring hiervoor ligt uiteindelijk in de convectielaag. De opborrelende gasbellen wekken geluidsgolven op in de bovenliggende atmosfeer, juist zoals het slaan op een trom de lucht in trilling brengt. Deze geluidsgolven planten zich met de geluidssnelheid verder naar buiten voort (Intermezzo I). Aanvankelijk worden de golven nauwelijks gedempt in de ijle atmosfeer en blijft de systematische golfbeweging bestaan. In een stationaire situatie is het energietransport per seconde per m^2 op elke hoogte





Boven: De zonsverduistering op 30 juni 1973 boven N-Afrika met duidelijk zichtbare uitlopers en poolbundels. Deze opname werd gemaakt vanuit een Concorde die met een snelheid van 554 m/sec de verduistering volgde. De heldere ring is kunstmatig en een gevolg van de gebruikte radieel verzwakkende filters.

dus hetzelfde. De dichtheid neemt echter snel af terwijl de voortplantingssnelheid veel minder snel groter wordt. Bijgevolg neemt de trillingssnelheid van de geluidsgolf snel toe. Zodra deze echter van de orde van de geluidssnelheid is geworden, is de geluidsgolf een schokgolf geworden. Dit is een verdichting die zich sneller dan het geluid (supersoon) voortplant met een scherp begreind front waar de dichtheid en temperatuur over zeer korte afstand toenemen. Daarin worden de systematische bewegingsenergie en de compressie-energie zeer snel omgezet in warmte door respectievelijk viscositeit en thermische geleiding.

Teneinde de chromosfeer en de corona steeds op dezelfde hoge temperatuur te houden moet de toevoer aan mechanische energie in evenwicht zijn met de verliezen. In de chromosfeer zijn de verliezen als gevolg van de hoge dichtheid voornamelijk stralingsverliezen; de stralingsverliezen waar het hier om gaat hangen namelijk af van onderlinge botsingen tussen ionen en elektronen. Het belang ervan neemt dus toe met het produkt van ionen- en elektronendichtheid, in een waterstofplasma dus met het kwadraat van de elektronendichtheid. In de corona worden de verliezen voornamelijk veroorzaakt door warmtegeleiding,

INTERMEZZO I

Energie transport

Verhitting

Geluidsgolven vertegenwoordigen een hoeveelheid energie, ter grootte van $\frac{1}{2} \rho v^2$ per volume-eenheid, waarin v de trillingssnelheid is van de deeltjes in de golfbeweging en ρ de plaatselijke gasdichtheid. Deze energie plant zich met de geluidssnelheid $c_s [\approx (kT/m)^{1/2} \approx 10 \text{ km s}^{-1}]^*$ voort. Het energietransport per seconde per m^2 bedraagt $\frac{1}{2} \rho v^2 c_s$. Dat een mechanische verhitting van de chromosfeer en de corona inderdaad voldoende is, blijkt uit de grootte van het mechanische transport in de chromosfeer waarbij schokken optreden, nl.

$$4 \pi R_{\odot}^2 \frac{1}{2} \rho c_s^3 \approx 10^{22} \text{ J s}^{-1}$$

* Voor de betekenis van de gebruikte symbolen verwijzen wij naar Intermezzo I op pag. 690-691 in het afgelopen decembernummer.

Zonnewind

Om aan het zwaartekrachtsveld van de zon te kunnen ontsnappen is per deeltje (massa m) een hoeveelheid energie $G m M_{\odot}/R$ nodig. Tegelijk wint het echter aan energie als gevolg van de verplaatsingsenergie verricht door het onderliggende gas, per deeltje een hoeveelheid

$$p \Delta(1/n) \approx -p \Delta n/n^2 \approx p/n = kT.$$

Hierin is $\Delta(1/n)$ de verandering in de grootte $1/n$. Het totale verlies aan interne energie per deeltje is dus

$$\Delta \epsilon = -GM_{\odot}m/R + kT.$$

Aangezien de interne energie $\epsilon = 3/2 kT$ is, moet dus voor ontsnapping gelden

$$\frac{5}{2} kT \gtrsim GM_{\odot} m \text{ of } T \gtrsim 2 \cdot 10^6 \text{ K},$$

$$2 R_{\odot}$$

hetgeen inderdaad ter plaatse van het temperatuurmaximum ($R \approx 2 R_{\odot}$) geldt.

hoofdzakelijk van het gebied met maximale temperatuur terug naar de chromosfeer, en door warmtetransport door de zonnewind naar de interplanetaire ruimte. Voor de chromosfeer is de benodigde energietoevoer zo'n 10^{22} J s^{-1} , die voor de (uiterst ijle) corona slechts een paar procent hiervan. (Ter vergelijking: de totale stralingsflux van de zon bedraagt $3,8 \cdot 10^{26} \text{ J s}^{-1}$). Dat een mechanische verhitte van de chromosfeer en de corona inderdaad voldoende is, blijkt uit een schatting van het energietransport in de chromosfeer in schokken; dit energietransport is 10^{22} J s^{-1} groot (zie Intermezzo I).

Omdat de corona zo heet is zal het gas aan het zwaartekrachtsveld van de zon kunnen ontsnappen. We bekijken nu hoe dit precies gebeurt.

Zonnewind

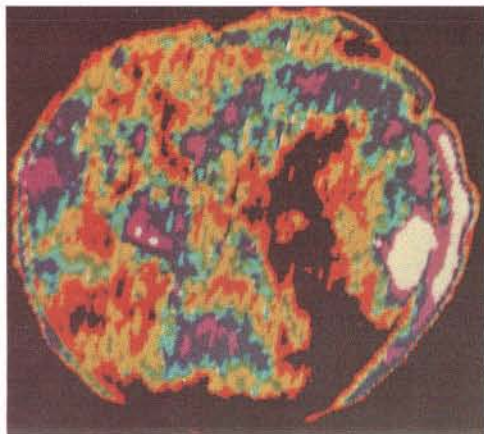
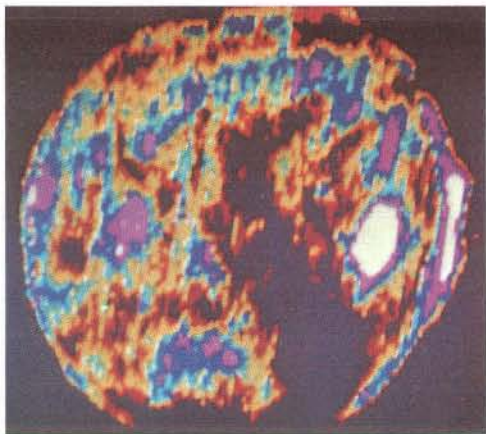
Uitlopers (zie de foto links) suggereren het bestaan van een buitenwaartse zonnewind. Tengevolge van de hoge temperatuur aan de basis stroomt dan ook voortdurend coronaal plasma in de interstellaire ruimte (zie Intermezzo I). Dit proces heeft echter niet het karakter van verdamping maar vindt georgani-

seerd plaats in de vorm van een wind. De afname van de gasdruk naar buiten zorgt ervoor dat de aanvankelijke thermische, dus ongerichte, bewegingsenergie van de deeltjes aan de basis van de corona naar buiten geleidelijk wordt omgezet in de vorm van gerichte buitenwaartse kinetische energie. Hierdoor is de uiteindelijke expansiesnelheid groter dan de lokale geluidssnelheid. De zonnewind stroomt supersoon uit. In de buurt van de aarde neemt men voor de zonnewind gemiddeld een snelheid waar van 300 tot 325 km s^{-1} , een elektronen- en protonendichtheid van elk $8,7 \times 10^6 \text{ m}^{-3}$, een elektronentemperatuur van $1,5 \times 10^5 \text{ K}$, een protonentemperatuur van $4 \times 10^4 \text{ K}$ en een magnetische veldsterkte van $5 \times 10^{-5} \text{ gauss}$.

Dat de corona niet bolsymmetrisch is, zagen we reeds aan de uitlopers. Ook op röntgenopnames (zie de foto op pag. 31) komt dit gebrek aan symmetrie duidelijk naar voren. Opvallend zijn hier grote gebieden zonder merkbare röntgenemissie, de zogenoemde *coronale gaten*. De veldlijnen in die gebieden zijn geopend naar de interplanetaire ruimte en de zonnewind is hier sterker dan in de omgeving van deze gaten. In het volgende besteden we aandacht aan de invloed van magnetische velden op de verschijnselen in de corona.

Onder: Deze twee foto's werden op 19 en 20 augustus 1973 tijdens de Skylab 3 missie genomen. Opvallend is de verandering in de omvang van het coronale gat (donkere gebied) binnen het tijdsbestek van één

etmaal. De oorzaak hiervan is de rotatie van de zon. De zonnewind is in de coronale gaten aanmerkelijk sterker dan in de omgeving ervan.



Actieve gebieden

Heldere punten in röntgenstraling

Een eenvoudige bepaling van de temperatuur verkrijgt men door de gemiddelde foton-energie gelijk te stellen aan kT . Hierin is k de constante van Boltzmann. Voor een karakteristieke golflengte van 1 nm vinden we

$$hf = 2 \cdot 10^{-16} \text{ J} = kT$$

zodat de temperatuur ongeveer 10^7 K is. Hierin is h de constante van Planck en f de frequentie.

Rechts: Een actief gebied met een zonnevlam.



Magnetische velden

Op röntgenfoto's van de zon ziet men lichtende lussen die actieve gebieden met elkaar verbinden (zie foto's op pag. 24 en 31). Het geheel lijkt op een patroon van ijzervijlsel bij een verzameling magneten. Inderdaad zijn magnetische velden verantwoordelijk voor de waargenomen structuur. De sterkte van het veld kunnen we helaas niet met het Zeeman-effect meten (zie het eerste artikel), omdat de coronale (emissie-)lijnen te zwak en bij de hoge temperatuur te zeer door het Doppler-effect verbreed zijn. Eigenlijk heeft de directe bepaling van de magnetische veldsterkte op de zon slechts betrekking op het zeer dunne laagje van de fotosfeer (200 km). Het lussenpatroon verandert voortdurend door nieuw oprijzende fluxbuisen die gedurende de eerste acht uren na verschijning aanleiding geven tot *heldere punten* in röntgenlicht (zie foto pag. 31). Zij wijzen op plaatselijk zeer hete gebieden in de corona. Uit een schatting (zie Intermezzo II) vindt men een plaatselijke temperatuur van 10^7 K. Deze heldere punten vertonen geen voorkeur voor een bepaalde heliografische breedte en komen ook bij de polen voor, waar ze samenvallen met kortlevende actieve gebieden zonder zonnevlekken.

Soms ziet men aan de polen regelmatig uitwaaiende structuren die doen denken aan

een *globaal poloïdaal magnetisch veld* (zie foto op pag. 702 in het eerste artikel). Uit fotosferische opnames blijkt inderdaad op elk halfmond van één voorkeurspolariteit sprake te zijn gedurende het grootste deel van de activiteitscyclus. Binnen ongeveer een jaar na het zonsmaximum klappt de polariteit om. Ook aan de polen is het veld weer geconcentreerd in geïsoleerde gebiedjes van sterke velden. Gemiddeld over de poolstreken vertegenwoordigt het veld aan de oppervlakte slechts een sterkte van 1 gauss. De hierbij horende flux (4×10^{12} Wb) is vergelijkbaar met de flux van één enkel groot actief gebied. Van de totale magnetische flux in één polariteit is 95 procent aanwezig op breedtes beneden 45° . Boven een breedte van 60° is die bijdrage aan de totale flux slechts 2 procent. Het is hiermee duidelijk dat het magnetische veld van de zon niet door een simpele dipool is voor te stellen. Tegelijkertijd zien we echter dat het aannemelijk lijkt voor de poloïdale veldcomponent in het dynamomechanisme (zie eerste artikel) een gemiddelde waarde van 1 gauss te nemen.

In het eerste artikel en in het bovenstaande hebben we gezien dat, behalve de granulatie, elke waargenomen structuur in de fotosfeer en in de corona zijn bestaan dankt aan de aanwezigheid van magnetische velden. Bij spicules en zonnevlekken zagen we dat magnetische vel-

Zonnevlammen

Bij het optreden van een vlam moet het magnetische veld minstens zo sterk zijn dat de totale energie-inhoud in de fluxbuis $\int B^2 dV/2\mu$ gelijk is aan de vrijkomende hoeveelheid energie. Een ondergrens voor de veldsterkte vindt men dan uit

$$V B^2/2\mu = 3 \cdot 10^{25} \text{ J.}$$

Voor een volume van 10^{23} m^3 vinden we dan een minimale veldsterkte van $3 \cdot 10^{-2} \text{ T} = 300 \text{ gauss}$. In feite kan slechts de veldcomponent loodrecht op de hartlijn van de buis (de azimuthale component) worden vernietigd. Reële waarden vóór en na de vlam zijn dan bijv. 1000 respectievelijk 800 gauss.

den een belangrijke rol spelen bij het leiden van het warmtetransport langs het veld en het verhinderen van transport loodrecht daarop. Mogelijk vormt dit effect tevens een gedeeltelijke verklaring voor het oplichten van de gesloten sterke velden in röntgenlicht in de corona en voor het ontbreken van straling uit de coronale gaten waar het veld zwak is en geopend naar de interplanetaire ruimte. Tenslotte bestaat er nog de mogelijkheid dat de elektrische stromen in de gebieden van ingewikkelde coronale velden snel worden gedissipeerd. Een deel van de energie van het bijbehorende veld wordt dan omgezet ('vernietigd') hetgeen door verhitting en de produktie van snelle deeltjes zichtbaar wordt. Het meest spectaculaire voorbeeld hiervan wordt gevormd door de zonnevlammen.

Zonnevlammen

In de convectiezone wordt voortdurend kinetische energie omgezet in magnetische energie, die vervolgens door de fotosfeer in de corona omhoogrijst. Wat gebeurt er met deze magnetische energie? Tijdens zonnevlammen wordt een deel van de magnetische energie omgezet in verhitting en versnelling van deeltjes. Een zonnevlam treedt bij voorkeur op in actieve gebieden met ingewikkelde magnetische structuren die snel veranderen, bijvoorbeeld door het opduiken van nieuwe eilanden van een polariteit tegengesteld aan die van het reeds aanwezige veld. Gedurende een korte aanlooptijd van enkele minuten neemt de optische (foto links), röntgen- en radio-emissie van een vlamgebied geweldig toe.

De vlam is zelden in continu *zichtbaar* licht waarneembaar, maar altijd zeer duidelijk te



De meeste energie van een zonnevlam komt vrij in een tijdsbestek van ca. 5 minuten en wordt over het hele elektromagnetische spectrum, van radiogolven, het zichtbare gebied, tot aan röntgenstraling uitgestoten. Deze foto werd gemaakt in de sterke Fraunhoferlijn H_α op 17 september 1970, 19^u 21^m UT. Tijdens zo'n uitbarsting kan de totale emissie in het harde röntgenstralingsgebied met een factor 100 stijgen.

zien in sterke Fraunhoferlijnen als H_{α} . Bij deze golflengte begint de vlamemissie in twee gebieden aan weerszijden van een lijn waarvan de veldcomponent in de verticale richting nul is, een zogenaamde neutrale lijn (zie Fig. 2). Uit de aanwezigheid van de waterstoflijnen blijkt dat het emitterende gas een temperatuur van 10^4 K heeft. Uit de afwezigheid van continue emissie kan men afleiden dat de kolomdicht-

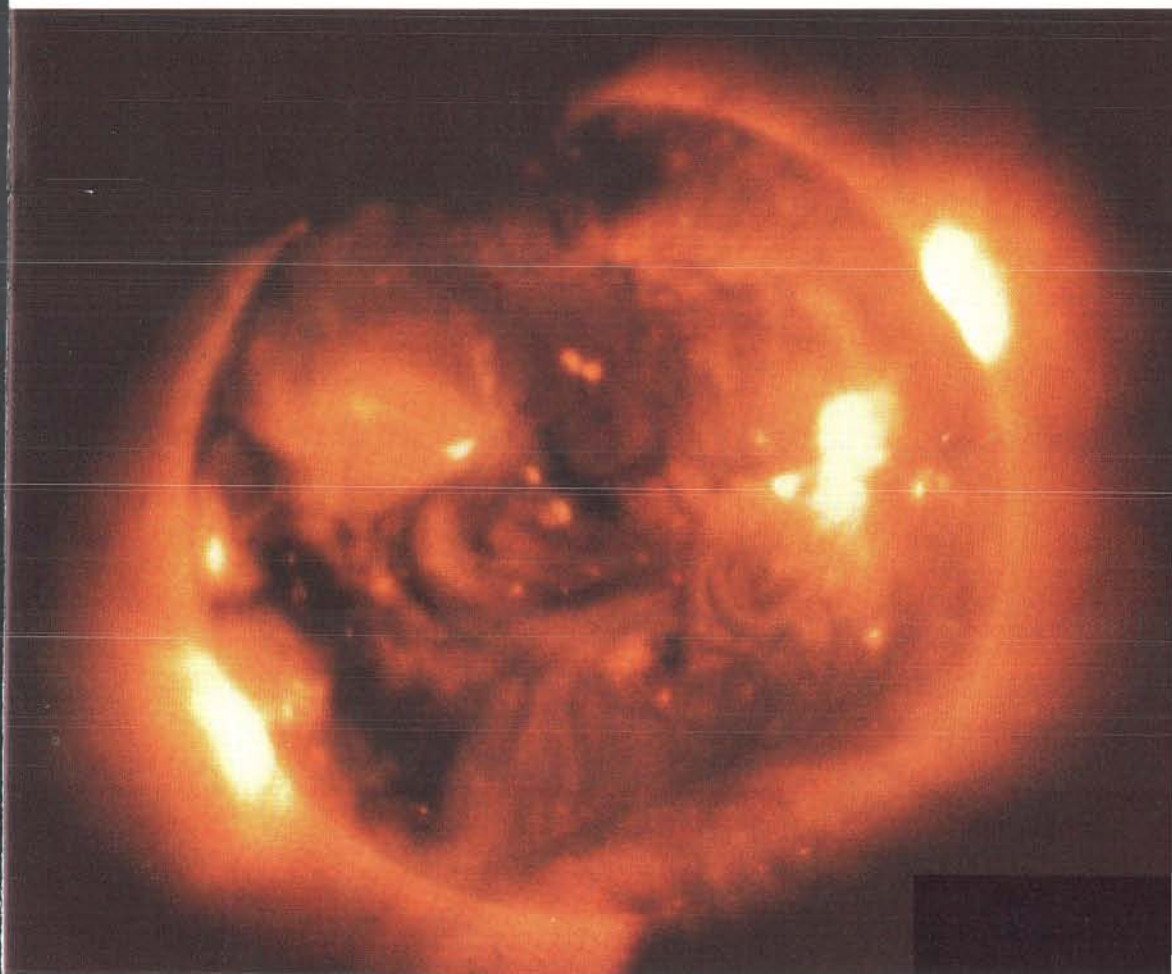
Onder. Een ultraviolet opname (spectroheliogram) van de zon, gemaakt op 10 juni 1973, 01^u 46^m UT. Het linkerbeeld laat de uitgezonden straling zien in een He II lijn bij 30,4 nm, het gedeeltelijk overlappende rechterbeeld laat de emissie zien in een Fe XV lijn bij 28,4 nm. Behalve de actieve gebieden ziet men aan de bovenrand van de zonnebeelden een protuberans-uitbarsting.



heid in de gezichtslijn van de orde 10^{24} deeltjes per m^2 is. Uit een gedetailleerde analyse van verschillende emissielijnen vindt men een gemiddelde waarde voor de elektronendichtheid in de optische vlamcomponent van zo'n 2×10^{19} per m^3 . De horizontale afmeting van een optische zonnevlam is enige duizenden kilometers terwijl de dikte van het gebied met een dergelijke hoge dichtheid relatief gering is (ongeveer 30 km). Waarnemingen van vlammen aan de zonsrand laten zien dat de optische vlam zich uitstrekt tot ijlere gebieden ($n \approx 10^{18} m^3$) op 15 000 km hoogte.

De röntgenemissie is deels continue remstraling, deels lijnemissie van hoog geïoniseerde elementen. Blijkbaar bevat het vlamplasma



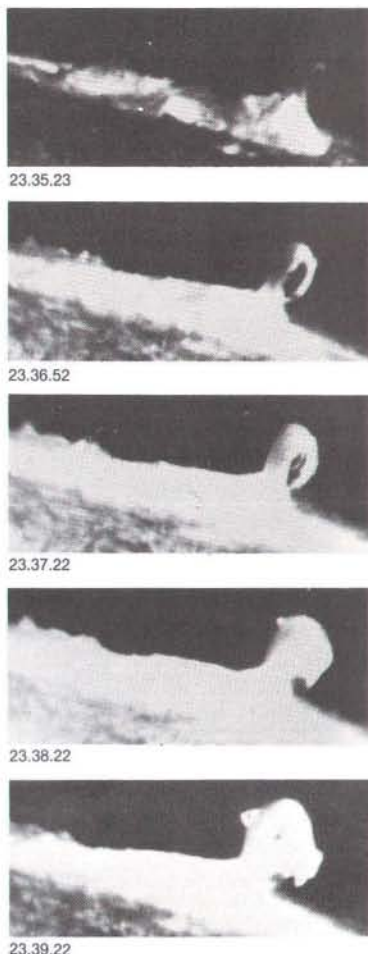
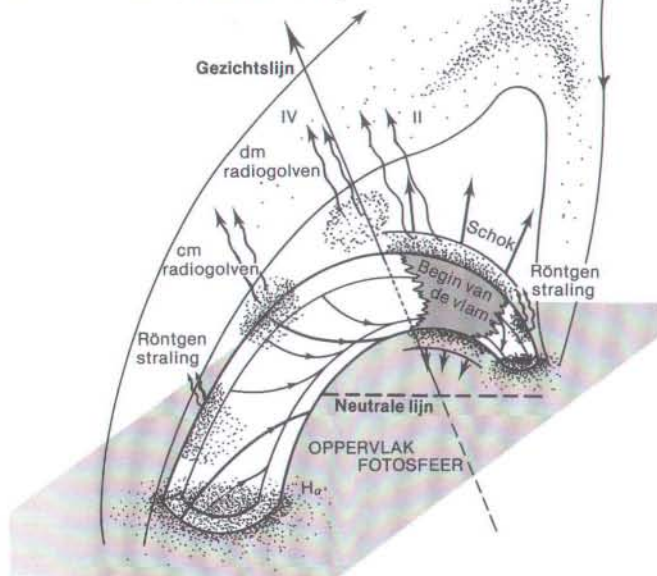


Boven: Deze röntgenopname werd op 28 mei 1973 door de Skylab 3 gemaakt. Opvallend zijn de grote heldere actieve gebieden, de heldere punten, de gebieden met zgn. filamenten in het midden en in het zuiden, en de coronale gaten die bij de polen en links op de foto van noord naar zuid lopen. De noordpool is 30° naar links op de foto gelegen.

Links: Tijdens de totale zonsverduistering op 26 februari 1979 bij Louistown, Montana werd deze opname van de zon door Karl Liebenberg gemaakt. Aan de rand van de zon zijn een groot aantal protuberansen te zien.

ook een zeer hete component van enige 10^7 K. Het optische vlamplasma denkt men ingebed in dit zeer hete, ijlere gas, het hoge-energie vlamplasma. Op röntgenopnames heeft een sterke zonnevlam een geprojecteerde oppervlakte van zo'n 10^9 km². De emissiegraad ($\int n^2 dV$; zie Intermezzo I, eerste art.) die men uit de waargenomen hoeveelheid straling afleidt, varieert tussen 10^{53} en 10^{56} m⁻³. Neemt men voor de verticale uitgebreidheid van het hoge-energie vlamplasma de geprojecteerde diameter ($\approx 10^5$ km) dan vindt men voor de dichtheid van het hoge-energie plasma een ondergrens van 10^{17} m⁻³. De grote gasdrukken die hiermee gepaard gaan wijzen op een opsluiting door sterke magnetische velden.

Fig. 2. Het begin van een zonnevlam is vermoedelijk gelegen ergens in een magnetische fluxbuis met getwijnde velden in de lage zonsatmosfeer. De karakteristieke afmetingen van zo'n buis boven de fotosfeer zijn een diameter van 10 000 km en een lengte van 100 000 km. Daarbij treedt plaatselijk sterke verhoging en versnelling van deeltjes op. De versnelde deeltjes geven aanleiding tot radiogolven in het cm- en dm-gebied en zenden röntgenstraling uit bij het binnendringen van de onderliggende atmosfeer. Als gevolg van de plotselinge verhoging lichten de lagere delen op in H_α en kan een deel van het atmosferisch materiaal explosief naar buiten worden geslingerd. Hierbij kunnen schokgolven ontstaan die zich in de bovenliggende corona voortplanten en daar aanleiding geven tot radio-emissie. Een deel van de versnelde elektronen bereikt via open veldlijnen de hogere corona en veroorzaakt daar type III radiostraling.



Tijdens een zonnevlam neemt men ook intense *radiostraling* in het cm/dm gebied waar. Deze radiostraling treedt gelijktijdig met de röntgenstraling op en wordt verklaard als straling van energetische deeltjes in het plaatselijke magnetische veld (gyrosynchrotronstraling). Blijkbaar vindt er naast een verhoging van gas tot 10^7 K ook versnelling van deeltjes plaats tot energieën van de orde van 100 keV.

Behalve verhoging en versnelling van deeltjes veroorzaakt een zonnevlam ook *bewegingen van gasmassa's*. Uit Dopplerverschuivingen van lijnen uit het optische vlamplasma vindt men bewegingen van enkele tientallen kilometers per seconde (foto's boven). Soms ziet men (bijv. in H_α) gasmassa's uit het vlamge-

bied wegstromen ('sprays') met snelheden van 2000 km s^{-1} . Protuberansen kunnen met grote snelheid in de corona worden geslingerd (zie foto op pag. 30 midden). In wit licht neemt men soms schokgolven waar die zich door de corona naar buiten voortplanten.

Ruwweg komt bij een sterke vlam (Fig. 2) gedurende 1000 sec een totale energie van 10^{25} J beschikbaar. De oorsprong van deze geweldige hoeveelheid energie kan slechts liggen

Rechts: Een kleine, rustige protuberans op de rand van de zon, ca. 50 000 km hoog.



23.40.32



23.41.02



23.42.12

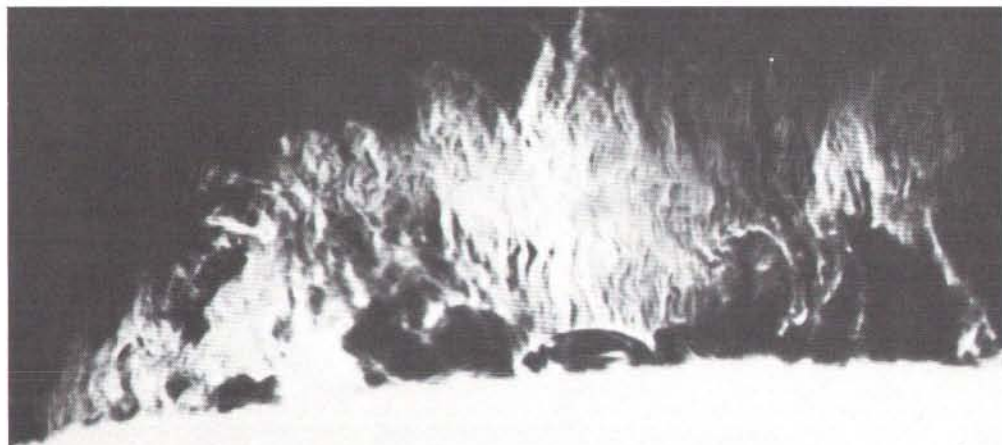


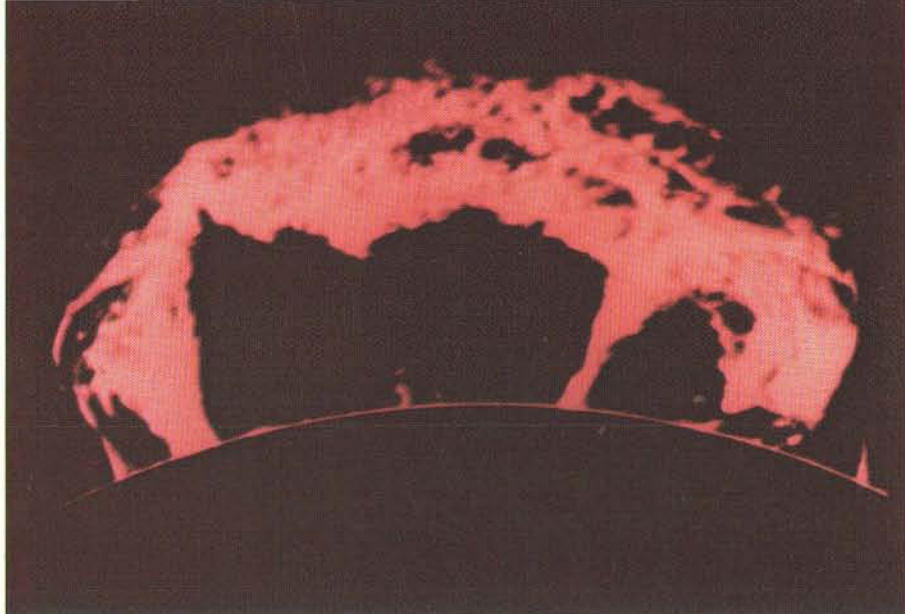
23.44.12

Een lusvormige vlamuitbarsting aan de rand van de zon op 9 juli 1974. De snelle ontwikkeling hiervan is duidelijk af te leiden uit de serie foto's. De tijdaanduiding is in UT (Universal Time; uren, minuten, seconden).

in magnetische velden. Als gevolg van bewegingen in de fotosfeer wordt een magnetische fluxbuis voortdurend vervormd en met name gedraaid. Na het opstijgen van de buis boven de fotosfeer zet deze torsie zich voort in de corona en de krachtlijnen raken daar steeds meer getwijnd. De totale magnetische energie in de buis neemt daarbij voortdurend toe en de elektrische stromen in de corona worden steeds groter. Vervolgens splitst de stroomlaag zich nu in een aantal dunnere stroomdraden; dit verschijnsel treedt bij voldoende stroomsterkte op omdat parallelle elektrische stromen elkaar aantrekken. De elektrische stromen concentreren zich dus en de gemiddelde elektronen-snelheid neemt daardoor toe. Voordat we dit proces verder kunnen beschrijven, moeten we eerst een fundamentele eigenschap van ijle plasma's toelichten.

In de ijle, hete corona is het aantal botsingen tussen deeltjes veel geringer dan in de fotosfeer. De baan van een snel deeltje wordt niet meer door opeenvolgende botsingen met telkens één ander deeltje bepaald, maar door het gezamenlijke veld van meerdere geladen deeltjes in de onmiddellijke nabijheid. Zogenoemde collectieve processen waarbij de elektronen en protonen in het plasma op geordende wijze bewegen en trillen in gemeenschappelijke elektrische en magnetische velden worden nu mogelijk. Een dergelijk plasma noemt men wel botsingsloos omdat botsingen geen rol spelen gedurende de korte tijden van golfperiodes die men op het oog heeft.





Boven: Een grote protuberans aan de rand van de zon. De uiterste voetpunten liggen ca. 300 000 km van elkaar af. De dikte van zo'n protuberans is in het algemeen 20-40 maal kleiner dan de lengte.

Rechtsboven: Deze opname van een zgn. eruptieve protuberans is gemaakt vanuit Skylab op 21 augustus 1973, door een filter dat alleen de spectrale lijn van helium bij 30,4 nm doorliet, dus in het verre ultraviolet. De helderheid is aangegeven door middel van een kleurencode. De witte gebieden zijn het helderst, de rode het zwakst.

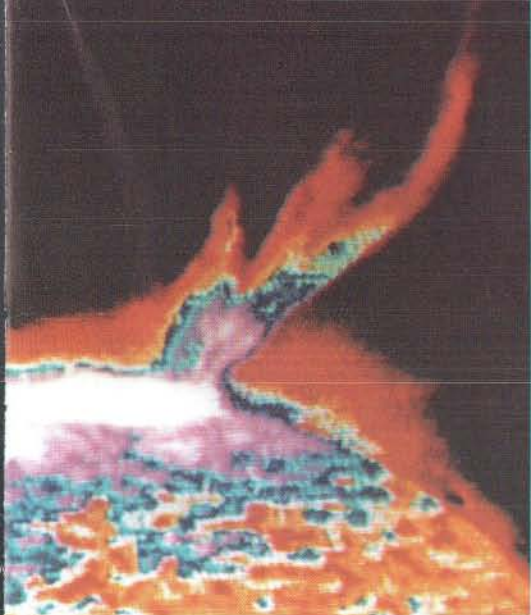
Is de stroomsterkte nu in de botsingsloze corona voldoende toegenomen, dan wekken de elektronen plasmagolven op door een resonantieproces. Deze plasmagolven vormen in feite gelokaliseerde elektrische veldpakketjes die de elektronen hinderen in hun beweging. De elektrische weerstand neemt hierbij wel een miljoen maal toe! De ohmse verliezen nemen dus ook drastisch toe en het bij de stroom behorende magnetische veld wordt met de stroom binnen korte tijd gedissipeerd, zodat het plasma geweldig wordt verhit en versnellingsprocessen kunnen optreden. Bij deze energie-ontlading keert het magnetische veld tot een minimum energietoestand terug. De waargenomen schokken en massabewegingen stelt men zich voor als gevolgen van de intense plaatselijke verhitte en de magnetische reactie hierop. Een ondergrens voor de magnetische veldsterkte vindt men uit de benodigde hoeveelheid energie (zie Intermezzo II). Karakteristieke waarden vóór en na de vlam zijn bijv. 1000 respectievelijk 800 gauss.

Veel door de vlam opgewekte verstoringen planten zich naar buiten toe voort en wekken

daarbij radiostraling op. Analyse van de radio-uitbarstingen van de verstoorde corona maakt het mogelijk om behalve de aard van de verstoring ook de toestand van de corona zelf te bepalen.

Radiostraling

In het voorgaande hebben we gezien dat de corona een ijl en heet omhulsel is dat de optische straling van de onderliggende fotosfeer nauwelijks tegenhoudt en zelf ook nauwelijks in dat golflengtegebied uitstraalt. Daarnaast hebben we gezien dat in zo'n ijl plasma heel gemakkelijk collectieve processen kunnen optreden. Vooral van belang zijn plasmatrillingen bij de plasmafrequentie (zie Intermezzo I in het eerste artikel). De grote beweeglijkheid van de elektronen in het plasma verhindert het binnendringen van elektromagnetische straling beneden de plaatselijke plasmafrequentie. In principe is dit hetzelfde effect dat er voor zorgt dat elektromagnetische straling in het zichtbare gebied niet kan binnendringen in metalen waar de plasmafrequentie boven de zichtbare

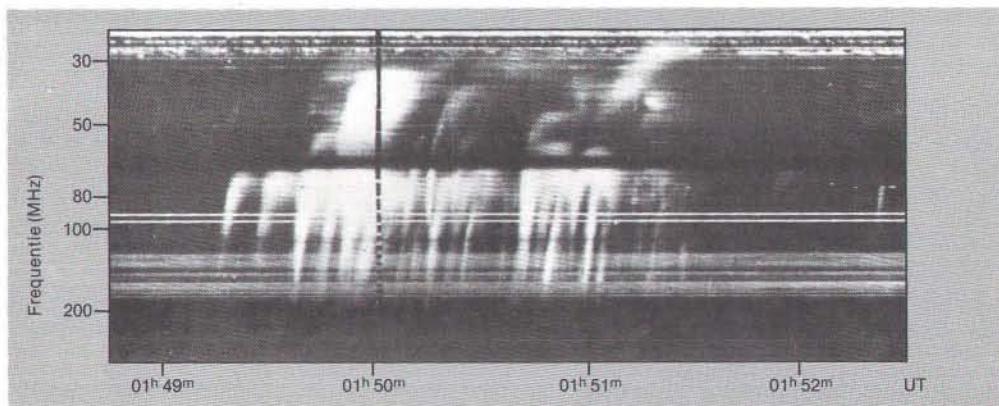


Vooral tijdens en na het optreden van zonnevlammen neemt men in het radiogebied diverse snel variërende *uitbarstingen* waar. Deze straling wordt wel niet-thermisch genoemd omdat ze wordt veroorzaakt door een kleine fractie snelle deeltjes (10 keV - 1 MeV).

Een karakteristiek verschijnsel is de radiostraling die door bundels snelle elektronen wordt opgewekt en die langs open veldlijnen uit het vlamgebied en de corona ontsnapt. Een voorbeeld van een dergelijke zogenoemde *type III* uitbarsting vindt men op de foto onder. Op hun weg naar buiten wekken deze snelle deeltjes voortdurend plasmatrillingen op bij de plaatselijke plasmafrequentie. Gedeeltelijk worden deze trillingen omgezet in elektromagnetische straling die zich bevindt in een nauwe band boven de plaatselijke plasmafrequentie en het plasma kan verlaten. De aardse waarnemer ziet dan een verschijnsel als op de foto onder. In dit zogenoemde dynamische spectrogram staat op de verticale as de waargenomen frequentie uitgezet, afnemend naar boven, juist zoals de plaatselijke plasmafrequentie in de corona afneemt naar buiten en in hori-

frequenties ligt. Radiostraling bij verschillende frequenties nu verschaft ons informatie over de corresponderende gebieden in de corona met de bijbehorende plasmafrequenties en dichtheden. Aan de basis van de corona is de plasmafrequentie ca. 1 GHz; zij neemt evenals de dichtheid af met toenemende hoogte boven de fotosfeer.

Onder: Een dynamisch spectrogram opgenomen met de Culgoora Radio Spectrograaf op 25 februari 1971. Deze opname vertoont groepen uitbarstingen van het type III. Deze uitbarstingen van elektromagnetische straling komen voor op frequenties beneden ongeveer 700 MHz.



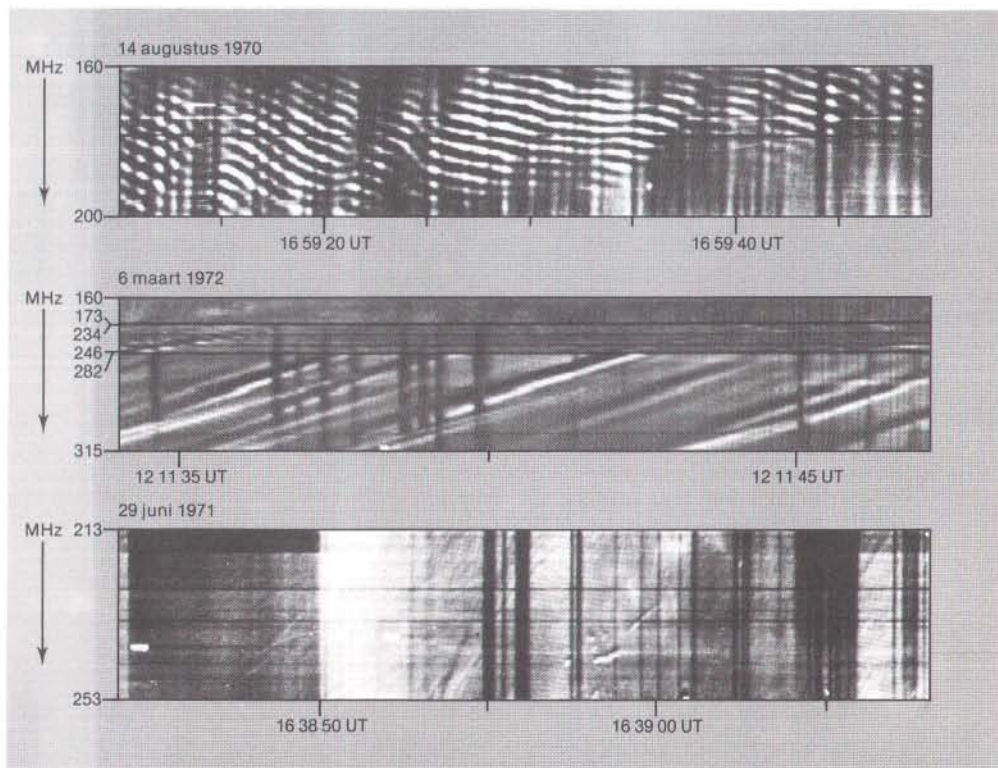
zontale richting de tijd. De hoeveelheid zwarting op de film is een maat voor de intensiteit van de ontvangen straling. Beschikt men nu, bijvoorbeeld door waarnemingen van het in de corona verstrooide licht, over een dichtheidsmodel van de corona, zodat men bij een willekeurige plasmafrequentie de corresponderende hoogte kent, dan kan men uit het verloop van het emissiepatroon de snelheid van de elektronenbundel bepalen. Deze blijkt van de orde van een derde van de lichtsnelheid te zijn (≈ 30 keV per elektron).

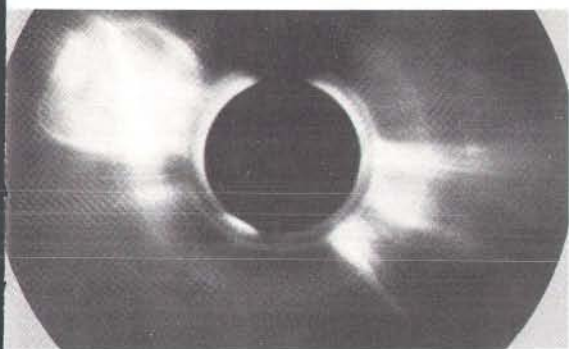
Niet alle versnelde deeltjes verlaten echter langs open veldlijnen de corona. Een aantal is gevangen in coronale magnetische bogen. Die elektronen die zich praktisch langs het magnetisch veld bewegen, belanden aan het andere einde van zo'n boog in de dichte fotosfeer en verliezen daar hun energie door botsingen met het dichte plasma. De overige elektronen blij-

ven echter al spiraliserend langs het coronale veld heen en weer reizen tussen de voetpunten van de boog. Daarbij kunnen weer plasma-trillingen worden opgewekt die men na omzetting in elektromagnetische straling op aarde ziet in de vorm van zgn. *continua*, emissiepatronen die op elke frequentie lang aanhouden in vergelijking met de type III emissie. Vaak zijn daar diverse fijne structuren in te zien (zie foto's onder) als zebrapatronen, fiberuitbarstingen en plotselinge reducties in de waargenomen flux. Deze fijne structuren kunnen worden verklaard aan de hand van de verschillende soorten golven die in een magnetisch plasma bestaan. Zij leveren een unieke mogelijkheid om het magnetische veld in het bron-gebied te bepalen. Voor de plaatselijke veldsterkte vindt men bijvoorbeeld waarden van 30 gauss bij een plasmafrequentie van 900 MHz afnemend tot 2 gauss bij 160 MHz.

Onder: De fijne structuren in de radiostraling van het type IV worden vermoedelijk geproduceerd in magnetische lussen met ingevangen snelle deeltjes. Van bo-

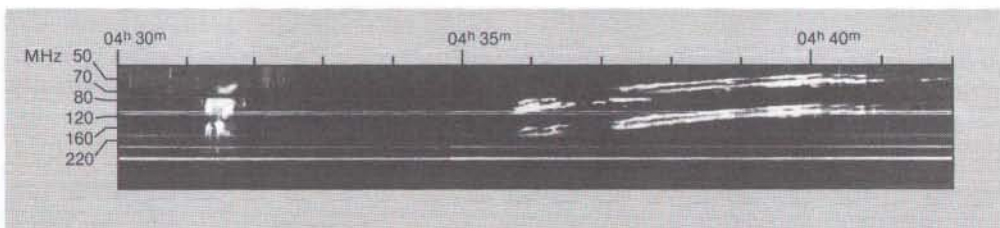
ven naar beneden: zebrapatronen, fiberuitbarstingen en plotselinge fluxreducties. De waarnemingen zijn verricht met de radiospectrograaf te Dwingeloo.





Boven: Een opname in wit licht van de corona vanuit de Skylab satelliet op 10 juni 1973 om 09^u43^m UT, ruim één uur na de protuberansuitbarsting van de foto op pag. 30 midden. Met behulp van een zogenoemde coronograaf werd de zon kunstmatig verduisterd door een afdekplaatje in het brandvlak te plaatsen. In de linkerbovenhoek is een reusachtige bel lichtend gas te zien, die zich met een snelheid van 500 km/s voortplantte.

Onder: Het radiospectrogram van een type II uitbarsting op 9 oktober 1969 van 04^u36^m - 04^u50^m UT. Een dergelijke uitbarsting gaat gepaard met een



Ook de schokgolven die zich na een vlamuitbarsting in de corona voortplanten kunnen aanleiding geven tot radio-emissie (*type II*, foto hierboven). Vergelijkt men dit patroon met de *type III* uitbarstingen in dezelfde opname dan ziet men dat de voortplantingssnelheid van de verstoring bij *type II* emissie veel kleiner is dan bij *type III* uitbarstingen. Met behulp van een dichtheidsmodel vindt men voor de *type II* verstoring een voortplantingssnelheid van 500-1000 km s⁻¹, een typische snelheid voor schokgolfachtige verstoringen in de corona. De interpretatie van dit verschijnsel op de radiogolflengten is nu ook door directe waarnemingen met Skylab in wit licht bevestigd (zie foto geheel boven).

Toekomstverwachtingen

Sinds enige maanden is de Westerborkse Radiotelescoop beschikbaar om de ruimtelijke structuur en de snelle ontwikkeling (met een scheidend vermogen van 0,1 sec) van het vlamgebied in de corona te ontrafelen. Naar verwachting zal de combinatie van deze ruimtelijke gegevens met spectra van radio-emissie rond 1 GHz (afkomstig uit het directe vlamgebied) en met röntgenwaarnemingen vanuit de begin 1980 te lanceren Solar Maximum Mission Satelliet ons gegevens verschaffen over het versnellingsproces.

Dr. C. Zwaan en Dr. A. D. Fokker ben ik zeer erkentelijk voor hun commentaar op het oorspronkelijke manuscript en de leden van het Sterrekundig Instituut, het Laboratorium voor Ruimteonderzoek en de Stichting De Koepel voor de toegang tot hun fotoverzamelingen.

schokgolf in de corona (de uitbarstingen vóór 04^u32^m zijn van het *type III*). De voortplantingssnelheid van zo'n schokgolf is 500-1000 km per sec.

Bronvermelding illustraties

- NASA, Washington: pag. 22-23, 27, 30 midden.
G. S. Vaiana, A. S. Krieger, A. F. Timothy, (1973). *Solar Physics* 32; G. Newkirk, L. Lacey, (1970). *Nature* 226, 1097: pag. 24.
D. H. Liebenberg, Los Alamos Scientific Laboratory, Los Alamos, NM: pag. 26, pag. 30 onder.
Sacramento Peak Observatory, Sunspot, NM/Association of Universities for Research in Astronomy, Inc.: pag. 28, 33.
Big Bear Solar Observatory: pag. 29, 32-33.
American Science and Engineering, Inc., Cambridge, Mass./Stichting De Koepel, Utrecht: pag. 31.
Sacramento Peak Observatory, Sunspot, NM/Stichting De Koepel, Utrecht: pag. 34.
NASA/Stichting De Koepel, Utrecht: pag. 34.
D. Palmer and R. P. Lin, (1972). *Proc. Astron. Soc. Australia* 2, 101: pag. 35.
G. A. Dulk, (1970). *Proc. Astron. Soc. Australia* 1, 308: pag. 37 onder.
High Altitude Observatory, Boulder, (1974). *Sky and Telescope* 48, 11: pag. 37 boven.



Prachtbarbeel



Darmplooi

MAAGLOZE VISSEN

Bouw en functie van het darmkanaal

H. W. J. Stroband,
J. H. W. M. Rombout,
J. H. M. Davina

*Vakgroep Experimentele Diermorphologie en
Celbiologie
Landbouwhogeschool Wageningen*

De meeste visselarven maar ook veel volwassen vissoorten, waaronder de Karperachtigen, zijn maagloos. Het ontbreken van een maag roept vele vragen op. Hoe worden eiwitten en andere voedingsstoffen efficiënt verteerd; wat zijn de gevolgen van het onaangetast doordringen tot de darm van lichaamsvreemde eiwitten en micro-organismen en welke consequenties heeft het voor de hormonale regulatie van de spijsvertering? Fundamenteel onderzoek naar het functioneren van het spijsverteringskanaal van deze dieren, die



Graskarper

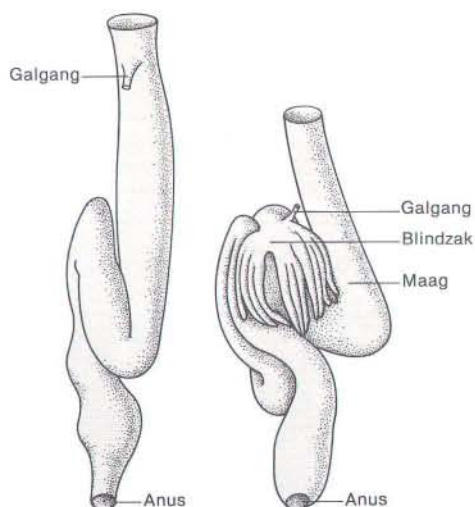


Fig. 1. Een afbeelding van het relatief eenvoudige spijsverteringskanaal van een maagloze vis uit de familie der Lipvisachtigen (links). Het spijsverteringskanaal van een kabeljauwachtige vis (rechts) is veel complexer (naar Jacobshagen).

Bij de foto's: Het onderzoek naar de bouw van het spijsverteringskanaal van maagloze vissen wordt vooral verricht aan Karperachtigen, zoals de Prachtbarbeel en de Graskarper.

een belangrijke voedselbron vormen, kan een antwoord geven op deze vragen. De eerste resultaten tonen aan dat maagloze vissen in staat zijn voedsel efficiënt op te nemen en te verteren.

Er bestaat een grote variatie in de bouw van het spijsverteringsstelsel van beenvissen. Er zijn soorten met een hoog ontwikkeld en complex spijsverteringsstelsel, inclusief een maag en blindzakken, maar er zijn ook beenvissen (zo'n 15% van alle soorten), die in het geheel geen maag bezitten (zie Fig. 1). Bij deze laatste vissen monden de afvoergangen van de lever en de alvleesklier uit in de buurt van de overgang van de slokdarm naar de darm, terwijl in de darmwand nergens meercellige klieren voorkomen. Bovendien ontbreekt een gebied met lage pH: de pH schommelt over de gehele lengte van de darm rond de 7.

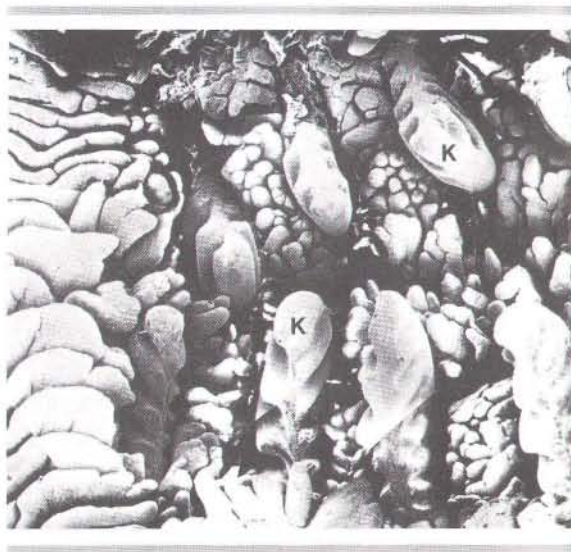
Deze kenmerken worden niet alleen aangetroffen bij maagloze soorten, maar komen ook voor bij de meeste andere beenvisssoorten gedurende de larvale periode, die begint wanneer de jonge visjes na het uitkomen uit het ei voor het eerst gaan eten. Pas later, in de loop van de periode waarin zich de definitieve vorm van de vis ontwikkelt, wordt de maag aangelegd. Maagloos-zijn vormt bij vissen dus bepaald geen uitzondering en de vraag dringt zich op welke consequenties deze eigenschappen voor de dieren heeft.

De maag heeft een functie bij de opslag en de vertering van het voedsel en speelt bij gewervelde dieren vooral een rol bij de afbraak van eiwitten. Daartoe produceren cellen in de maagwand het pro-enzym *pepsinogeen* dat onder invloed van zoutzuur in het actieve enzym *pepsine* wordt omgezet. Dit pepsine, dat eiwitten afbreekt door ze in stukken te knippen (een *endopeptidase*), heeft een pH optimum van 1,5 à 2,5 en het zal dus geen verwondering wekken dat in de darm van maagloze vissen (pH = 7) dit enzym niet werkzaam is. De vraag rijst, hoe deze dieren dan in staat zijn toch efficiënt eiwit uit het darmkanaal op te nemen.

Het ontbreken van een maag heeft ook gevolgen voor de zo belangrijke hormonale regulatie van de spijsvertering: de maag van zoogdieren produceert onder invloed van een voedselstimulus nl. *gastrine*. Dit hormoon stimuleert de afgifte van zoutzuur en het al eerder genoemde *pepsinogeen*. Bovendien stimuleert zoutzuur uit de maag de afgifte van *secretine* in de twaalfvingerige darm. Dit laatste hormoon reguleert de afgifte van bicarbonaat door de alvleesklier, waardoor de darminhoud weer wordt geneutraliseerd. Tenslotte kan het ontbreken van een maag met een zeer lage pH leiden tot een groter infectiegevaar: micro-organismen en intacte macromoleculen kunnen wellicht gemakkelijker tot de middendarm doordringen, waardoor het afweersysteem van de darm een bijzondere betekenis krijgt.

De biologische betekenis van het ontbreken van een maag

In het algemeen geldt, dat vorm en functie van een structuur nauw met elkaar samenhangen. Het lijkt daarom voor de hand liggend dat er wezenlijke functiever verschillen zijn tussen het spijsverteringsstelsel van maaghoudende en dat van maagloze vissen, hetgeen tot uitdrukking zou komen door verschillen in het type voedsel dat deze dieren nuttigen. Niets is echter minder waar: onder de maagloze vissen treffen we echte herbivoren (plantenetters) aan zoals een aantal Aziatische karperachtigen, en daarnaast typische carnivoren (vleeseters), zoals de in Oost-Europa levende roofblei. Het belangrijkste verschil in bouw van het spijsverteringskanaal tussen herbivoren en carnivoren blijkt de darm lengte te zijn: deze varieert binnen de familie der karperachtigen van zo'n 20 maal de lichaamslengte bij genoemde Aziatische karpers tot slechts 0,5 à 0,7 maal de lichaamslengte bij echte rovers. De door ons onderzochte karperachtige vissen (de Chinese graskarper, de tropische prachtbarbeel en de inheemse karper) blijven met hun darm van twee à drie maal de lichaamslengte dus aan de bescheiden kant. Hoewel bekend is dat de graskarper veel waterplanten kan verorberen en onder bepaalde omstandigheden ook vrij efficiënt kan verteren, lijkt het toch aanneme-



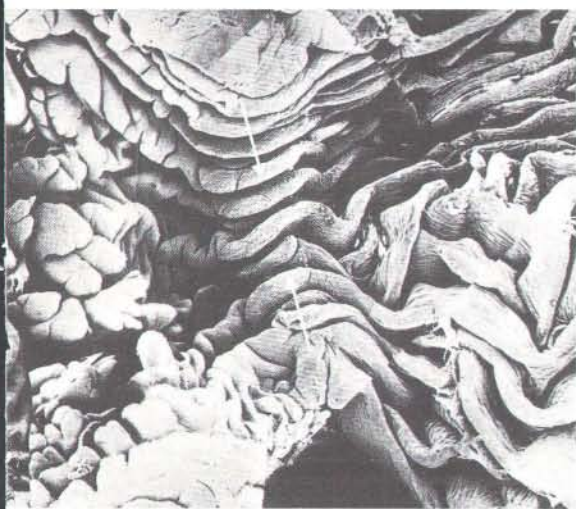
lijk dat het hier een omnivoor (alleseter) betreft. Het dier kan voor de groei niet buiten dierlijk eiwit en gedijt in aquaria uitstekend op tubifex en ander dierlijk voedsel.

Klaarblijkelijk kunnen we niet eenvoudig stellen dat vissen met een maag een bepaald type voedsel nuttigen en vissen zonder maag een ander, maar ligt de zaak veel complexer. Over de oorzaak van het ontbreken van een maag bij een groot aantal vissoorten is veel gespeculeerd. In dit verband is (naast vele andere) de hypothese van de Pool Szarski interessant. Hij oppert dat de maag het eerst zou kunnen zijn verdwenen bij zoetwatervissen die veel schaaldieren, zoals slakjes en kreeftjes, aten. Het in de schaal aanwezige calciumcarbonaat zou de maaginhoud neutraliseren en moest dus onschadelijk worden gemaakt. Dit kon door grotere zout-zuur-productie, maar dat zou voor zoetwatervissen problemen op kunnen leveren in verband met de lage concentratie aan ionen in het omringende milieu. Een andere oplossing zou zijn de spijsverteringsprocessen te beperken tot die welke in een alkalisch milieu kunnen plaatsvinden, wat zou hebben geleid tot de reductie van de maag. Deze hypothese zou verklaren waarom de maagloze soorten vooral in zoetwater verbreid zijn. Dat nu maagloze vissen voorkomen met een heel ander dieet verklaart Szarski door aan te nemen dat ze voorouders hadden met een alkalisch dieet.

De bouw van het spijsverteringsstelsel

Wanneer we de bouw van het spijsverteringskanaal van maagloze vissen in ogenschouw nemen, is het eerste wat opvalt dat de mond- en keelholte structuren bevatten die van belang zijn voor enerzijds de voedselopname en voedselselectie en anderzijds voor de ademhaling. Zo treffen we voor in de mondholte vooral veel smaakzintuigen aan. In de wand van de voorste helft van de keelholte bevinden zich de kieuwspleten die het opgenomen water toegang geven tot de kieuwkamers. Het achterste deel van de keelholte is geheel ingericht voor het transport en de verwerking van voedsel. Hier treffen we de keeltanden aan; de enige tanden die deze dieren bezitten (zie foto onder). Bij de graskarper is de functie niet zozeer het malen als wel het snijden van voedsel. Op deze plaats gaat de keelholte over in de zeer korte slokdarm. Evenals mond- en keelholte produceert de bekleding van dit orgaan veel slijm, wat het voedseltransport vergemakkelijkt. Na opname van de afvoergang van de zwemblaas gaat de slokdarm over in de darm (zie foto onder) waarin vervolgens de galgang en de afvoergang van de alvleesklier uitmonden.

De darmwand bestaat bij vissen van binnen naar buiten uit vier lagen (zie Fig. 2). De *mucosa*, bestaande uit de epitheelbedekking



Links: Een scanning elektronenmicroscopische opname van de bodem van het achterste deel der keelholte (links), de slokdarm en het begin van de darm (rechts) van een graskarper. De overgang van de slokdarm naar de darm is met pijlen aangegeven. De keeltanden (K), die ten dele omgeven worden door villi-achtige slokdarmpllooien, kunnen hun werk doen dankzij een in het darmdak gelegen kauwplaat (vergr. 30 x).

Bij de foto's rechts: De morfologie van de plooiën uit de verschillende segmenten van de darm van de graskarper vertoont aanzienlijke verschillen.

Rechts: Een darmplooi uit het eerste segment. In de darmcellen aan de top der plooi bevinden zich grote vacuolen. De kernen van de zeer langgerekte darmcellen liggen op ongeveer éénderde der cellengte. Tussen de cellen liggen afweercellen (zie pijlen). Aan de basis van de plooi bevinden zich delende mitotische cellen (M). Ook zijn slijmcellen (S) aanwezig. Geheel rechts: Een plooi uit het tweede segment. De darmcellen bevatten grote vacuolen, die een blauwe inhoud hebben. Opvallend is ook de donkergekleurde rand cytoplasma die direct onder de microvilli ligt. Evenals in het eerste segment bevatten de celkernen vaak één of meerdere kernlichaampjes (vergr. 270 x).

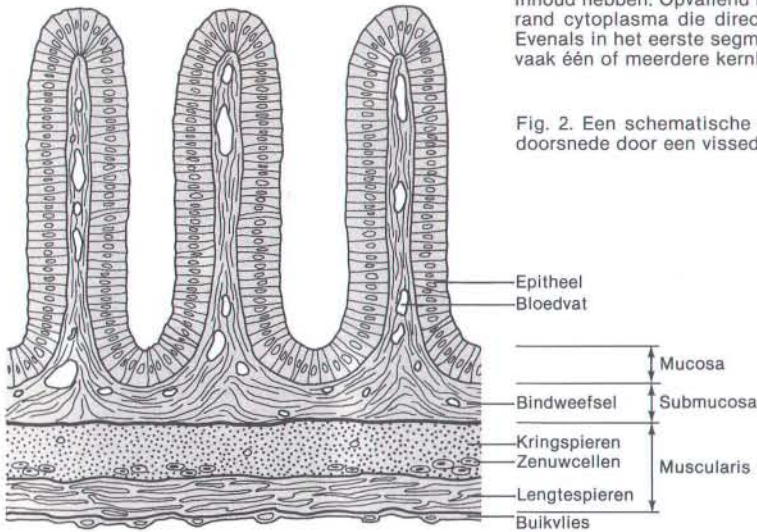
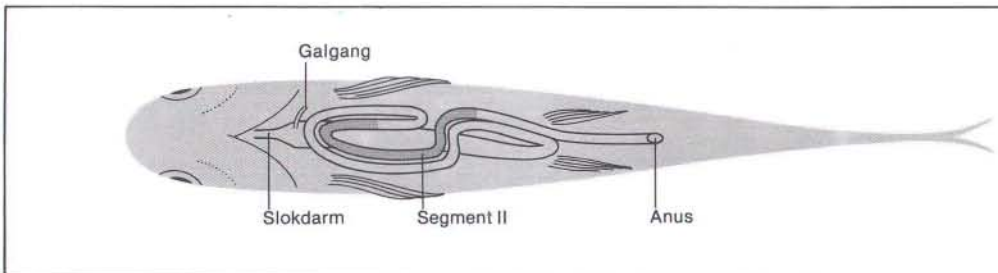


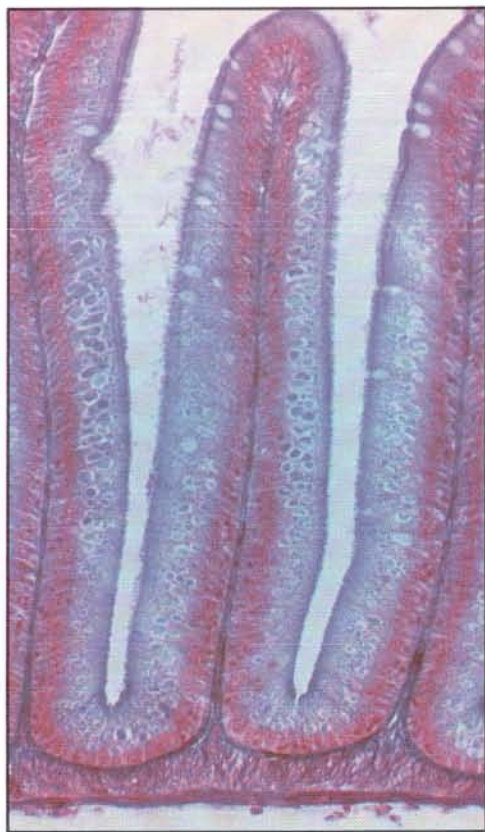
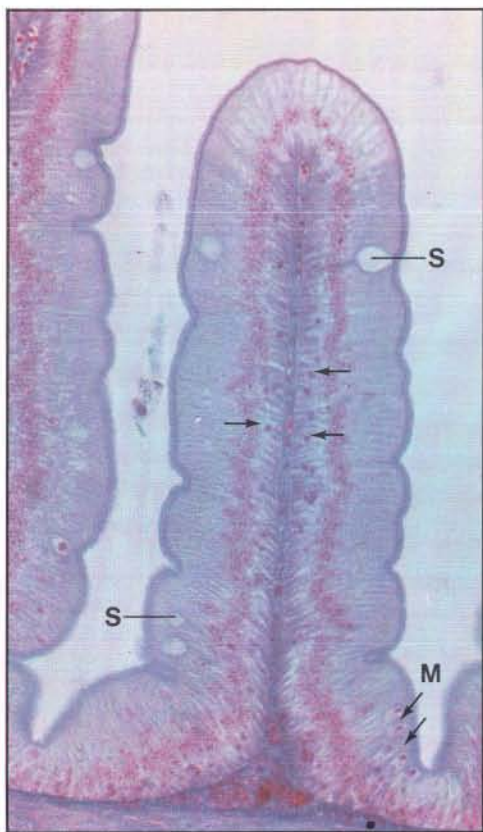
Fig. 2. Een schematische weergave van een lengtedoorsnede door een vissedarm.

met onderliggend bindweefsel, gaat zonder duidelijke overgang over in de *submucosa*, die los bindweefsel bevat en waarin de grote bloedvaten verlopen die de mucosa van bloed voorzien. Hier omheen ligt de *muscularis*, die bestaat uit een laag kring- en lengtespijeren die de peristaltiek van de darm verzorgen. Tussen de

spierslagen ligt een zenuwplexus. Om de muscularis heen ligt een dunne laag bindweefsel met epitheel: het *buikvlies*. De mucosa van de vissedarm is gevouwen in een groot aantal plooiën.

In het epitheel dat het darmkanaal begrenst worden drie epitheliale celtypen aangetroffen





(zie Fig. 3). Het overgrote deel hiervan bestaat uit absorberende cellen. Ze zijn gekenmerkt door het bezit van veel microvilli die het oppervlak van de cel sterk vergroten. Daarnaast komen slijmcellen vrij veelvuldig voor. Minder groot in aantal zijn de hormoonproducerende cellen. Los tussen deze epitheliale cellen ko-

men ook verschillende witte bloedcellen voor.

Op grond van de structuur van de absorberende darmcellen na toediening van voedsel is de darm van maagloze vissen (inclusief de visselarven) in drie segmenten te verdelen (zie Fig. 4): één van 65 à 75% van de darm lengte, een tweede van 15 à 25% en een derde van ongeveer 5 à 10% van de darm lengte. Het meest karakteristiek zijn de absorberende cellen in het tweede darmsegment. Deze bevatten, tussen de microvilli en de kern, zeer grote vacuolen (zie foto linksboven). In het eerste segment ontbreken deze grote vacuolen, maar worden kleinere aangetroffen (zie foto rechtsboven). Deze kleine vacuolen blijken vet te bevatten en kennelijk wordt dus in het eerste segment vet opgenomen.

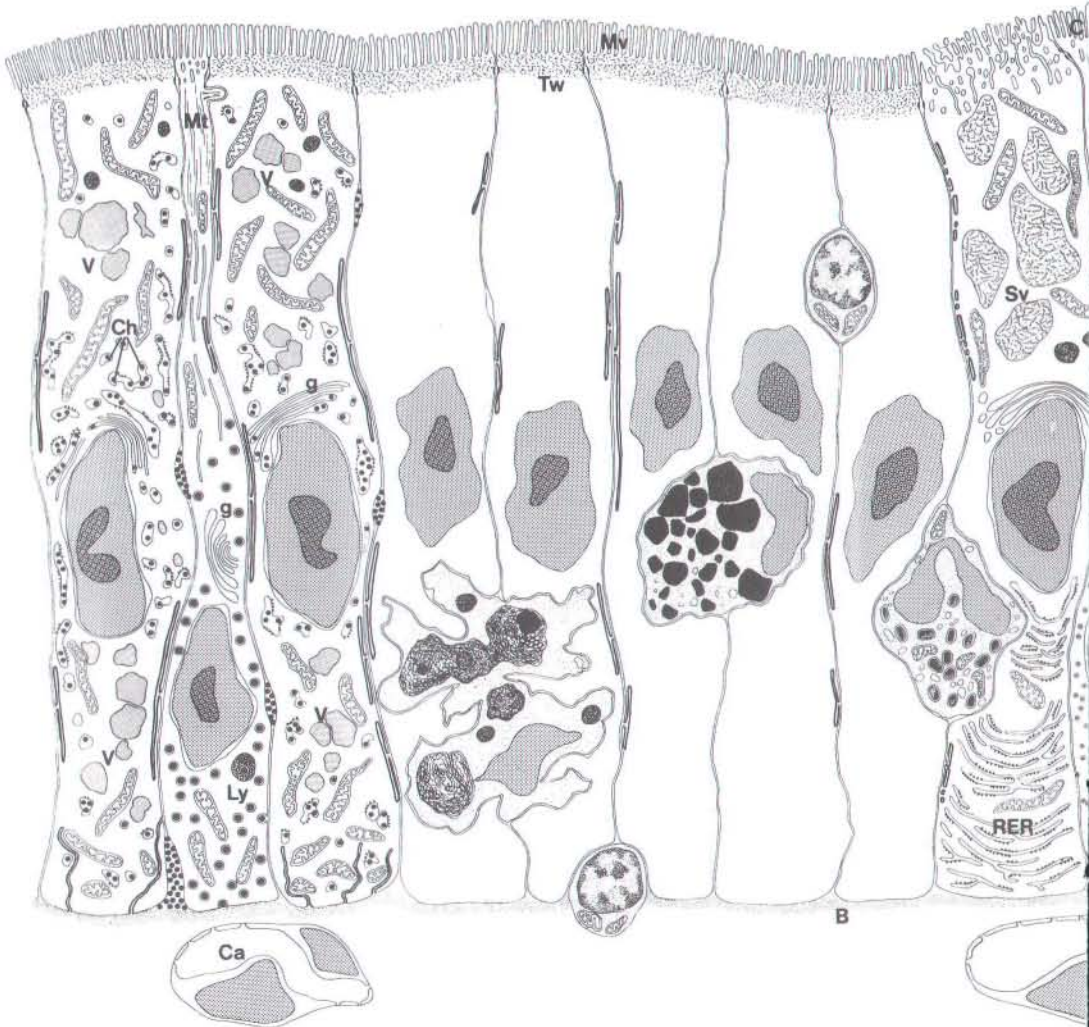
Tussen de microvilli en de kernen van absorberende darmcellen in het eerste segment tref-

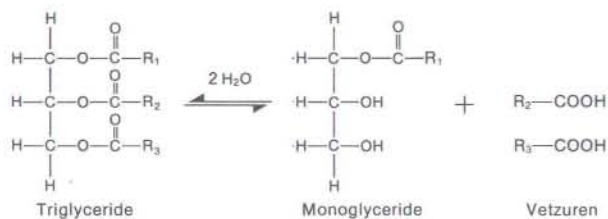
Fig. 4. De ligging van de verschillende darmsegmenten bij de graskarper is in deze tekening aangegeven. De slokdarm gaat over in het eerste darmsegment. Het tweede segment (grijs) is het middelste deel van het darmkanaal. Het laatste stuk tot de anus vormt het derde segment.

fen we veel vet bevattende vacuolen aan. Bij sterkere vergroting (zie foto op pag. 46) blijkt dat er in deze cellen ook een groot aantal veel kleinere deeltjes voorkomt, vooral in het endoplasmatisch reticulum (ER). Deze deeltjes zijn *chylomicronen*: vetdruppeltjes met een eiwit component. De elektronenmicroscopische beelden wijzen er op dat ook bij vissen, net als bij zoogdieren, vetten na vertering in het darmkanaal als vetzuren en monoglyceriden in de cellen worden opgenomen (zie Fig. 5), waarna

in het ER uit deze bouwstenen opnieuw triglyceriden worden gesynthetiseerd. Vervolgens wordt een eiwitcomponent, gevormd in het ruw ER, toegevoegd en de ontstane chylomicronen worden via de intercellulaire ruimten naar de bloedvaten afgevoerd.

Nu is over de functie van het tweede segment ook het één en ander bekend. Zo blijken macromoleculen die met het voedsel worden opgenomen voor een deel min of meer onverteerd in het tweede segment te worden opgeno-





Palmitinezuur (16:0) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$

Oliezuur (18:1) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

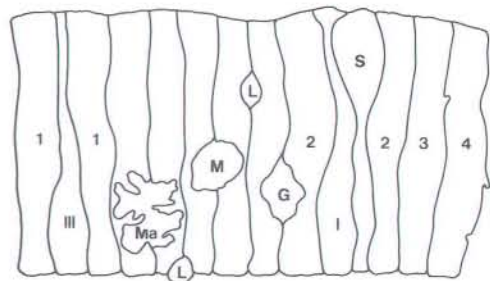
Linolzuur (18:2) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$

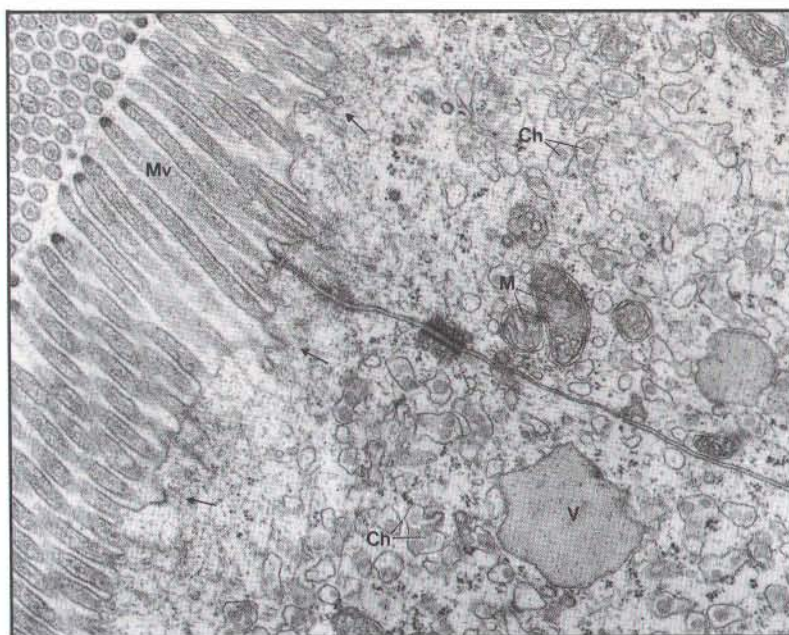


Boven: Fig. 5. In het darmkanaal worden vetten afgebroken tot vetzuren en monoglyceriden. Veel voorkomende vetzuren zijn het verzadigde palmitinezuur, het enkelvoudig onverzadigde oliezuur, en het meervoudig onverzadigde linolzuur.

Fig. 3. Een schematische weergave van alle in de darmbekleding aangetroffen celtypen, zoals die met de elektronenmicroscop kunnen worden waargenomen. De epitheelcellen, genummerd 1 t/m 4, zijn 'absorberende' cellen aanwezig in het eerste darmsegment (1), het tweede segment (2) en het derde segment (3 en 4). I en III zijn twee typen endocriene cellen. Ook is een slijmbekercel (S) aangegeven. In de darmbekleding komen verschillende afweercellen voor zoals een granulocyt (G), een lymfocyt (L), een mestcelachtige cel (M) en een macrofaag (Ma). Onder het epitheel liggen kleine bloedvaten, capillairen (Ca), die voor de aan- en afvoer van stoffen zorgen.

- | | |
|---|------------------------|
| B - Basaal membraan | L - Lymfocyt |
| C - Cilias | Ly - Lysosoom |
| Ca - Capillair | M - Mestcelachtige cel |
| Ch - Chylomicronen | Ma - Macrofaag |
| F - Fagosoom | Mt - Microtubuli |
| G - Granulocyt | Mv - Microvilli |
| g - Golgi-complex | |
| RER - Ruw endoplasmatisch reticulum | |
| S - Slijmbekercel | |
| Sv - 'Supra nucleaire' vacuolen | |
| Tw - 'Terminal web' (dit is het bovenste deel der cellen, waarin nauwelijks organellen voorkomen) | |
| V - Vetdruppels. | |





Boven: Een elektronenmicroscopische opname van cellen uit het eerste segment van de graskarperdarm. De chylomicronen (Ch) in het endoplasmatisch reticulum zijn goed te zien.

De pijlen wijzen op pinocytoseblaasjes die ook in dit segment voorkomen zij het niet frequent. Verder zijn aanwezig vetdruppels (V), mitochondriën (M) en microvilli (Mv) (vergr. 13 000 x).

men (zie foto rechts). Absorberende cellen in dit deel van de darm vertonen een geheel ander elektronenmicroscopisch beeld (zie foto rechtsboven) dan die uit het eerste segment. De cellen zijn direct herkenbaar aan de grote vacuolen en aan het zeer grote aantal *pinocytoseblaasjes* dat wordt aangetroffen onder de microvilli. Dit zijn instulpingen van de celmembraan die worden afgesnoerd, waardoor materiaal uit het darmkanaal in de cel terecht kan komen zonder passage van een membraan.

Cellen uit het derde segment hebben maar heel weinig, korte microvilli. Ze spelen bij de voedselopname waarschijnlijk geen belangrijke rol. Dit segment speelt waarschijnlijk een rol bij de water- en zouthuishouding.

Vertering en absorptie van voedingsstoffen

Bij maagloze vissen worden spijsverteringsenzymen vooral in de alvleesklier geproduceerd. De belangrijkste enzymen worden ook in het darmepitheel aangetroffen, maar waarschijnlijk worden ze door de cellen uit de voedselbrij geabsorbeerd. Cellulase, het enzym dat de celwand van planten (bestaande uit cellulose) afbreekt, wordt bij sommige gewervelde dieren door de darmflora geproduceerd. Bij herbivore maagloze vissen komt dit enzym niet in noemenswaardige hoeveelheden voor. Vandaar ook, dat van de graskarper bekend is, dat plantecellen die niet door de keeltanden stuk gesneden werden, bij de anus in nog on-



Boven: Een opname van darmcellen uit het tweede segment van de darm van de graskarper. In dit darmsegment worden zeer veel pinocytoseblaasjes aangetroffen (pijlen). Tevens zijn grote vacuolen (Sv), microvilli (Mv) en mitochondriën (M) te zien (vergr. 25 000 x).

hoeveelheden aanwezig. Ook maltase en saccharase, de enzymen die de suikers maltose en saccharose afbreken, zijn aangetroffen. Door aan het voedsel een stof toe te voegen die niet afgebroken kan worden (een inerte indicator) in een bekende verhouding met de te onderzoeken voedselbestanddelen, en de darminhoud na het voeren op een aantal plaatsen in de darm te analyseren, is het mogelijk na te gaan waar in de loop van het transport door de darm een bepaalde component wordt geabsorbeerd. Russische onderzoekers die deze experimenten voor het eerst uitvoerden concludeerden dat bij de karper suikers evenals vetten vooral in het eerste segment worden opgenomen.

Trypsine is, bij afwezigheid van een pepsine-zoutzuur systeem, het belangrijkste eiwitsplitsende enzym. Het is niet uitgesloten dat dit enzym uit de alvleesklier door een enzym uit de darm (het enterokinase) wordt geactiveerd. Naast dit endopeptidase komen ongetwijfeld ook enzymen voor (*exopeptidasen*), die eiwit-

Onder: Een overlangse doorsnede van de darm van een graskarperlarve op de plaats waar het eerste segment (I) overgaat in het tweede (II). De larve heeft peroxidase met het voedsel binnengekregen. In het preparaat is gekleurd op de aanwezigheid van de enzymen alkalisch fosfatase (bruin) en peroxidase (donkerblauw). Vooral in de microvilli van het eerste segment bevindt zich de bruine kleurstof, hetgeen erop wijst dat de cellen van dit segment actief voedselbestanddelen kunnen absorberen. Peroxidase bevindt zich alleen in het tweede segment (waarschijnlijk in de grote vacuolen) (vergr. 180 x).

verteerde toestand kunnen worden aangetroffen.

Een bron van enzymactiviteit is ongetwijfeld ook het voedsel, zeker wanneer het dierlijk voedsel betreft. Experimenten bij visselarven wijzen er op dat soms wel 50% van alle proteolytische (eiwitsplitsende) enzymactiviteit zijn herkomst vindt in het voedsel. Dit zou één van de redenen kunnen zijn waarom larven van vele vissoorten niet of nauwelijks zonder dierlijk voedsel kunnen.

Het vetsplitsende enzym lipase is vooral actief in het voorste deel van het darmkanaal, waar in de darmcellen ook vet wordt aangetroffen. Amylase, het enzym dat zetmeel afbreekt, is vooral bij herbivoren in aanzienlijke



ten afbreken door het afsplitsen van aminozuren aan de uiteinden van de eiwitmoleculen (zie Fig. 6).

Een belangrijke vraag is, of eiwitten door deze enzymen voldoende efficiënt kunnen worden verteerd om het gemis van een maag te compenseren. Het antwoord hierop is niet eenvoudig te geven. Tot op dit moment ontbreken aanwijzingen dat de eiwitvertering bij maagloze vissen minder goed verloopt dan bij vissen met een maag. De experimenten met de indicatormethode wijzen er op dat bij de karper

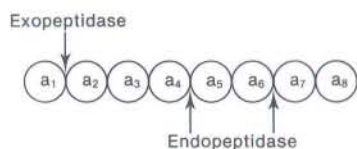


Fig. 6. Eiwitsplitsende (proteolytische) enzymen kunnen worden onderverdeeld in exopeptidasen en endopeptidasen. De eerste breken een eiwitketen af door aan het uiteinde telkens één aminozuur af te splitsen. Endopeptidasen daarentegen knippen de keten op specifieke plaatsen in grote brokstukken.

ook eiwitten (evenals vetten en suikers) vooral in het eerste segment worden opgenomen. Nu weten we dat pinocytose weliswaar ook in dit segment voorkomt, maar toch in zeer beperkte mate. Dit geeft aan dat de eiwitten vermoedelijk eerst afgebroken worden tot aminozuren of dipeptiden, waarna ze opgenomen worden via de membraan van de microvilli.

Dat er in het eerste segment actieve absorptie (tegen een concentratiegradiënt in) door de cel plaatsvindt is duidelijk. Reeds lang is bekend dat er een relatie bestaat tussen actieve opname van vetten, suikers en aminozuren en de aanwezigheid van het enzym alkalische fosfatase in de membranen van de microvilli van de absorberende cellen. Door lokalisatie van dit enzym in microscopische preparaten met behulp van een specifieke kleurstof is vast te stellen waar actieve opname plaats vindt. Dit blijkt vooral in het eerste segment het geval te zijn (zie foto op pag. 47).

Voorlopig lijkt het waarschijnlijk dat het meeste eiwit in het eerste darmsegment wordt verteerd en geabsorbeerd, en dat het tweede segment niet direct als een aanpassing aan het ontbreken van een maag kan worden gezien.

TABEL I Cellen van het endocriene systeem van maag, darm en alvleesklier bij zoogdieren

Celltype	Locatie	Hormoon*	Doelwitorgaan
A	Alvleesklier	Glucagon	Lever
AL	Maag	Glucagon	Lever
EG	Dunne- en dikke darm	Enteroglucagon	Lever
B	Alvleesklier	Insuline	Lever
D	Alvleesklier, Maag, Dunne darm	Somatostatine*	Endocriene cellen
D ₁	Alvleesklier, Maag, Dunne darm	Gastrine*, VIP*, GIP	Maag?
EC	Alvleesklier, Maag, Dunne- en dikke darm	Serotonine* Motiline Substantie P*	Maag- en darmspiers
ECL	Maag	Histamine*	Maag
G	Maag, Dunne darm	Gastrine*	Maag
H	Dunne- en dikke darm	VIP*	Dikke darm
I	Dunne darm	Cholecystokinine- pancreozymine*	Galblaas Alvleesklier
K	Dunne darm	GIP	Maag
N	Dunne darm	Neurotensine*	?
S	Dunne darm	Secretine	Alvleesklier

* Deze hormonen komen ook in het centrale zenuwstelsel voor.

Afkortingen: GIP = 'Gastric Inhibitory Peptide', VIP = 'Vasoactive Inhibitory Peptide'.

Hormonale regulatie

Hoewel bij zoogdieren de spijsvertering beïnvloed kan worden door de X^e kopzenuw, de *nervus vagus*, vindt de belangrijkste regulatie binnen het spijsverteringssysteem plaats door middel van de in het epitheel gelegen hormoonproducerende (endocriene) cellen. De laatste decennia is veel onderzoek verricht naar deze vorm van regulatie, resulterend in de beschrijving van een groot aantal hormonen en diverse typen endocriene cellen. Uit Tabel I blijkt dat er een nauwe relatie is tussen de endocriene cellen in het darmepitheel en die van de alvleesklier. Dit is niet verwonderlijk, omdat deze klier embryonaal wordt gevormd als een uitstulping van de zich ontwikkelende darm. Het blijkt dat bij zoogdieren alle endocriene celtypen van de alvleesklier, met uitzondering van de insulineproducerende B-cel, ook in het maag-darm epitheel voorkomen.

Door de afwezigheid van het pepsine-zoutzuur systeem en het ontbreken van darmklieren kunnen maagloze vissen volstaan met een relatief eenvoudige hormonale regulatie. Bij de prachtbarbeel (*Barbus conchonus*) kunnen

slechts drie endocriene celtypen worden onderscheiden op grond van de grootte der secretiegranula (zie Tabel II). Dit zijn blaasjes waarin het hormoon opgeslagen wordt. Ze liggen, in tegenstelling tot de granula van bijvoorbeeld de slijmbekercel die zijn produkt in het darmkanaal loost, in de verbrede basis van de cel (zie Fig. 3 en foto onder). De meeste endocriene cellen van deze vis bezitten een lange smalle uitloper naar het darmkanaal die microvilli bevat. Door pinocytose vindt hier opname van stoffen plaats waarna de stimulus, misschien via de vele in de uitloper aanwezige microtubuli, naar het cellichaam wordt vervoerd. Al deze kenmerken wijzen er op dat deze cellen chemisch worden gestimuleerd. We kunnen ze dan ook beschouwen als de 'smaakcellen' van de darm hoewel ze in tegenstelling tot echte smaakcellen niet in verbinding staan met het zenuwstelsel. Als reactie op chemische stimuli, die het gevolg zijn van voedselopname, wordt aan de basale zijde van de cel door *exocytose* (het omgekeerde van pinocytose, zie foto onder) hormoon afgegeven. Dit wordt via de onder het epitheel gelegen bloedcapillairen naar de zogenaamde 'doel-

Werking

Verhoging van de bloedsuikerspiegel

Verlaging van de bloedsuikerspiegel

Remming van de hormoonafgifte

Stimulatie van de peristaltiek

HCl-afgifte

HCl-afgifte

Osmoregulatie

Afgifte van gal c.q. enzymen

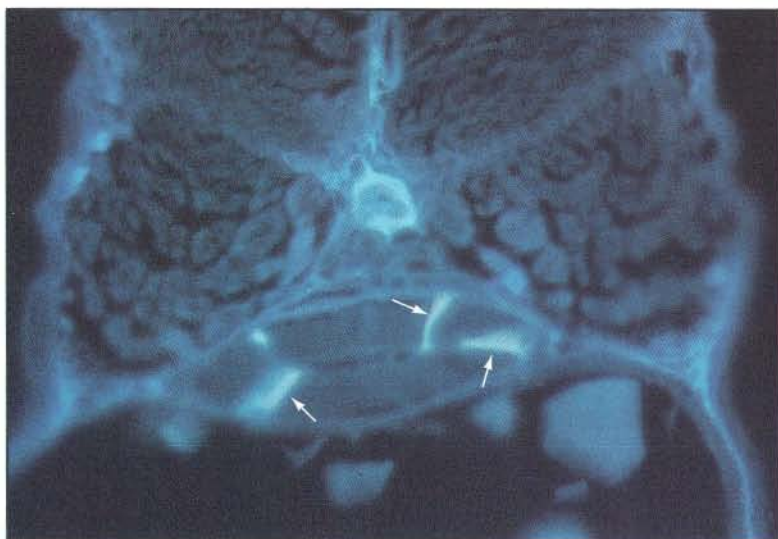
Remt de peptische vertering

?

Afgifte bicarbonaten



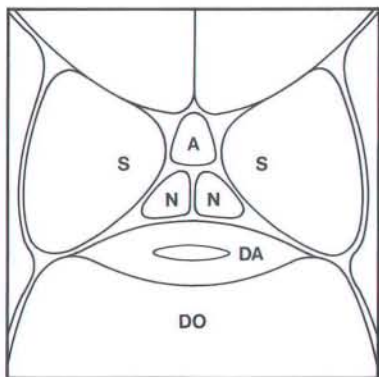
Boven: Een endocriene cel (type III) uit het eerste segment van de darm van de prachtbarbeel. In de cel, waarvan alleen de onderste helft met de basaal-membraan (B) en de kern (K) is aangetroffen, zijn veel granula aanwezig. Ook is een exocytoseblaasje zichtbaar (pijl) (vergr. 5000 x).



TABEL II Endocriene cellen in de darm van de prachtbarbeel

Celttype	Granulum diameter (nm)	Locatie*			Alvleesklier
		I	II	III	
I	123	+	+	++	-
II	170	++	±	±	-
III	231	++	-	-	+

* I, II, III = 1e, 2e, en 3e darmsegment



Bij de foto's links: In de darm van een embryo van de prachtbarbeel zijn cellen aanwezig die dopamine bevatten (pijlen), hetgeen wijst op een neurale afkomst. Op de foto boven is dopamine aangetoond met behulp van fluorescentie terwijl op de foto onder het dopamine radioactief gemerkt is waardoor de zwarte korreltjes zijn ontstaan. De structuur in het midden is de darm, daarboven ligt de aorta en de nierbuisjes, omgeven door de rompspieren. Onder de dooierzak van de visselarve (vergr. $\pm 600 \times$).

wit-organen' afgevoerd. Indien stimulatie achterwege blijft (vastende vissen) wordt het overschot aan gevormde granula binnen de cel door lysosomen opgenomen en afgebroken.

Bij de prachtbarbeel blijkt slechts één celtype zowel in de alvleesklier als in de darm voor te komen (Tabel II, celtype III). Dit produceert zeer waarschijnlijk (entero-)glucagon. Aan de andere celtypen kan voorlopig geen functie met enige zekerheid worden toegeschreven. Celtype I komt, gezien het voorkomen over de hele lengte van de darm, het meest overeen met de motiline en serotonine producerende EC-cel van zoogdieren (zie Tabel I). Het hormoon serotonine is overigens bij vissen niet aantoonbaar in het darmepitheel, zodat misschien alleen motiline geproduceerd wordt. Celtype II is voornamelijk in het voorste deel van de darm gelokaliseerd en is misschien betrokken bij de productie van cholecystokinine-pancreozymine, het hormoon dat de alvleesklier en de galblaas tot afgifte van respectievelijk enzymen en gal aanzet. Hormonen die direct of indirect gerelateerd zijn aan de aanwezigheid van een maag, zoals gastrine, G.I.P. (gastric inhibitory peptide) en secretine, zijn bij karperachtigen waarschijnlijk niet aanwezig.

De meeste endocriene cellen bevatten bij zoogdieren naast het hormoon ook nog één of meerdere bestanddelen die kenmerkend zijn voor neurale (van het zenuwstelsel afgeleide) cellen, zoals neuropeptiden en biogene amines (dopamine, serotonine, histamine). Daarom wordt aangenomen dat deze celtypen tijdens de embryonale ontwikkeling uit neurale weefsels ontstaan. Voor enkele typen cellen is dit aangetoond (o.a. de cellen van het bijniemerg). Van endocriene cellen uit de maag, de darm en de alvleesklier is (nog) geen neurale herkomst bewezen. In de prachtbarbeel kon, alléén tijdens de embryonale ontwikkeling, dopamine in hormoonproducerende darmcellen worden aangetoond (zie foto's links). Dit is misschien een aanwijzing dat deze cellen inderdaad een neurale herkomst hebben.

Hormoon

Motiline (EC) ?

Cholecystokinine-pancreozymine (I)?

Enteroglucagon (EG)

Celvernieuwing

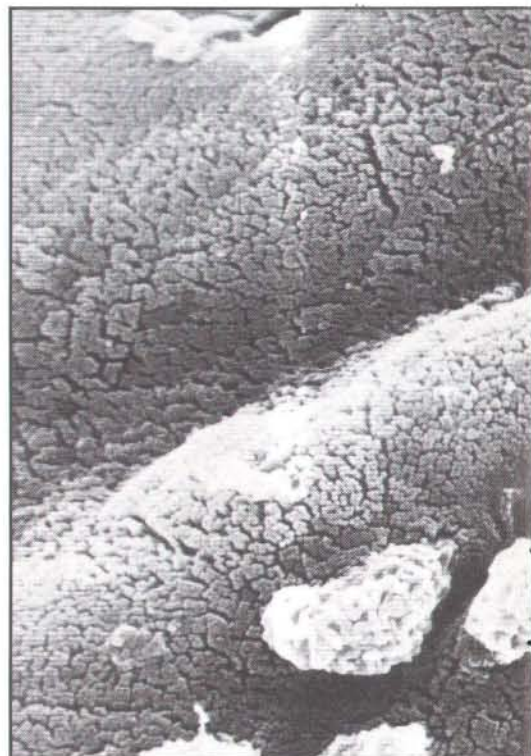
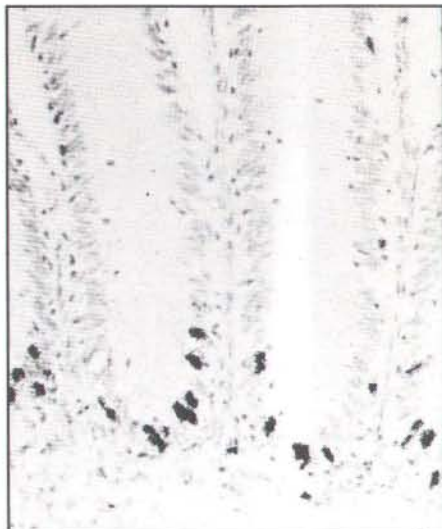
Het epitheel van de darm wordt regelmatig vernieuwd, bij vogels en zoogdieren maar liefst elke twee à drie dagen. Dit mechanisme van celvernieuwing is histologisch te onderzoeken door een radioactief gelabelde bouwsteen van DNA (^3H -Thymidine, een nucleotide) bij een dier in te spuiten. Dit zal, wanneer van een cel het kernmateriaal verdubbeld wordt, in de celkern worden ingebouwd. Later is het dan met behulp van autoradiografie, waarbij een gevoelige film over de microscopische preparaten wordt gelegd, terug te vinden, omdat op de plaatsen waar zich de radioactieve bouwstenen bevinden, de film 'belicht' wordt, wat bij ontwikkeling zwarting ten gevolge heeft.

De delende cellen blijken zich bij vissen aan de basis der darmplooiën te bevinden (zie foto rechts). De nieuw gevormde cellen schuiven naar 'boven' op en bereiken na tien à vijftien dagen de toppen der plooiën (zie foto geheel rechts). Vervolgens worden ze in het darmkanaal uitgestoten (zie foto rechtsonder). Dit continue vernieuwingsproces voltrekt zich bij maagloze vissen dus veel trager dan bij warmbloedigen: vermoedelijk gaat het hier voor een deel om een temperatuureffect.

Combinatie van autoradiografie met elektronenmicroscopie heeft aangetoond dat de delende cellen aan de basis der darmplooiën min of meer functionele cellen zijn, tenminste waar het de absorberende darmcellen betreft. Dit is een belangrijk verschil met de situatie bij zoogdieren, waar in het delingsgebied aan de basis der villi alle cellen primitieve kenmerken hebben en stellig niet functioneel actief zijn. Het is mogelijk dat bij vissen ook primitieve stamcellen aanwezig zijn, maar dan in een zeer gering aantal, en waarschijnlijk alleen betrokken bij de vernieuwing van slijmcellen en eventueel endocriene cellen.

Boven: Autoradiogrammen van de darm van een graskarper na toediening van ^3H -Thymidine. Links: Drie uur na injectie bevindt zich de radioactiviteit in de kernen van de cellen aan de basis van de darmplooiën. Rechts: Na tien dagen zijn de gemerkte cellen opgeschoven tot aan de toppen der darmplooiën (vergr. 250 x).

Rechts: Een scanning elektronenmicroscopische opname van de top van de darmplooiën in het tweede segment van een graskarperdarm. Boven de microvilli bevinden zich een aantal structuren, waarschijnlijk afgestoten cellen (vergr. 2500 x).



Darmimmunologie

Het ontbreken van een maag betekent dat micro-organismen en macromoleculen onaangetast in de darm kunnen komen. Als gevolg hiervan kunnen lichaamsvreemde stoffen via pinocytose door de epitheelcellen worden opgenomen en zodoende in contact komen met afweercellen. Vissen hebben dezelfde afweervormen als zoogdieren; het immuunsysteem is echter minder complex. Bij vissen bestaat namelijk slechts één klasse van antilichamen (in tegenstelling tot meerdere klassen bij zoogdieren) en ze bezitten ook minder typen afweercellen. Vissen hebben geen beenmerg en geen verspreid in het lichaam liggende lymfeklieren. De immuunorganen van vissen zijn de thymus, de nier, de kopnier en de milt.

In de darm van maagloze vissen komen veel afweercellen voor met name tussen de epitheelcellen en in het daaronder gelegen bindweefsel. Het zijn voornamelijk lymfocyten en granulair leucocyten en verder enkele mestcelachtige en macrofaagachtige cellen (zie Fig. 3 en foto op pag. 54). Deze cellen kunnen vanuit het bindweefsel door de basaalmembraan het epitheel binnendringen. De plaats en het aantal van deze afweercellen in de darm wordt waarschijnlijk bepaald door de plaats waar het antigeen (de vreemde stof) binnendringt. De slijmlaag die het darmepitheel bedekt vormt een barrière voor het antigeen, mede door de aanwezigheid van antilichamen in het slijm. Het relatief geringe aantal slijmcellen voor in de darm zou er toe kunnen leiden dat de afweerreactie vooral daar optreedt (zie Fig. 7).

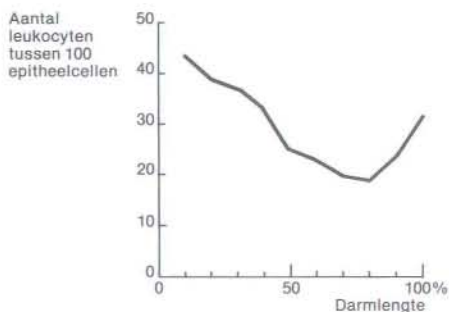
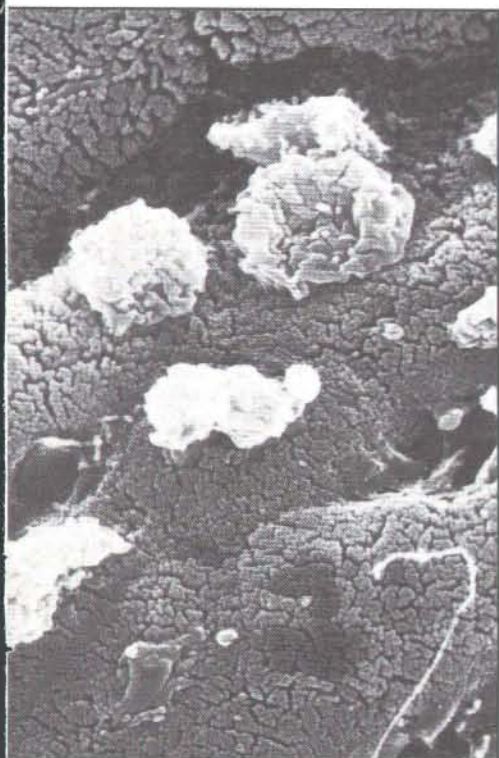
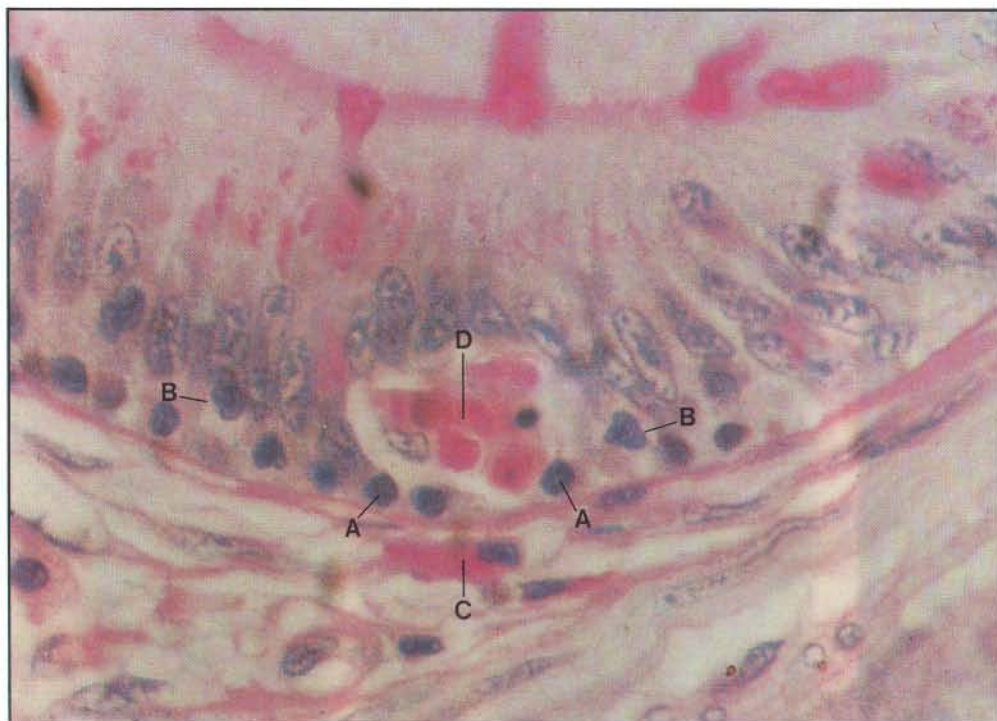


Fig. 7. De verdeling van leucocyten over de darm van de prachtbarbeel. Voor in de darm komen relatief veel leucocyten voor terwijl daar juist de slijmcellen betrekkelijk gering in aantal zijn. Dit is een aanwijzing dat vooral hier de afweerreactie plaatsvindt.



Boven: In de darm van de prachtbarbeel kunnen vier typen leucocyten worden aangetroffen: lymfocyten met een ronde kern en weinig cytoplasma (A), granulaire leucocyten met een boonvormige tot gelobde kern (B), mestachtige cellen (C) met een perifeer gele-

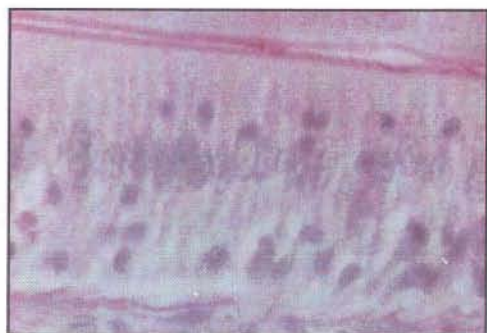
gen kern en vol roodgekleurde granula en ook macrofaagachtige cellen (D) met daarin grote fagosomen (vergr. 1450 x).

Bij de foto's rechts: In de darm van vissen (hier de prachtbarbeel) bevinden zich veel leucocyten (de don-

Wanneer een antigeen met het voedsel wordt toegediend, neemt het aantal afweercellen in het darmepitheel toe. Tevens migreren de afweercellen meer naar de top van de epitheelcellen (zie foto's rechtsboven). Over het mechanisme van deze afweerreactie is weinig bekend. De lymfocyten die zich tussen de darmepitheelcellen bevinden zorgen misschien voor een specifieke cellulaire afweer, zoals ook bij zoogdieren wordt verondersteld.

Wanneer een vis voor de tweede keer in contact komt met hetzelfde antigeen, treedt de afweerreactie sneller en heftiger op. Het is blijkbaar mogelijk een vis te immuniseren, zodat hij beter beschermd is tegen een natuurlijke infectie. Voor de visteelt is het voorkomen en bestrijden van ziekten van groot belang. Om-

dat het om grote aantallen gaat, is het economisch niet verantwoord om elke vis apart te immuniseren. Daarom is men aangewezen op methoden waarbij het vaccin wordt toegediend via het water of via het voedsel. Tot nu toe vallen de resultaten echter tegen. Wat de toediening via het voedsel betreft is dit waarschijnlijk vooral het geval, omdat men voornamelijk maaghoudende vissen in de voeder-experimenten heeft gebruikt zonder na te gaan wat de gunstigste leeftijd voor immunisatie is. De meeste vissoorten hebben maagloze larven; misschien kunnen deze op jonge leeftijd in kleine aquaria (en dus efficiënt) oraal worden geïmmuniseerd. Er dient rekening mee gehouden te worden dat ook de temperatuur, de visdichtheid (i.v.m. stress) en de dosis van het an-



kere vlekken). Geheel boven: De verspreiding onder normale omstandigheden. Boven: Na toediening van een lichaamsvreemde stof (antigeen) is het aantal leukocyten sterk toegenomen en ook bevinden deze zich meer boven de epitheelcelkernen (vergr. 800 x).

tigeen een belangrijke rol kunnen spelen. Het is duidelijk dat nog veel onderzoek zal moeten worden verricht, alvorens vissen in de praktijk op grote schaal kunnen worden geïmmuniseerd.

De spijsvertering bij maagloze vissen verloopt waarschijnlijk niet minder efficiënt dan bij vissen met een maag. Er is veel onderzoek verricht aan maaghoudende vissen (met name de forel), maar er is nog betrekkelijk weinig bekend over de spijsvertering van maagloze soorten zoals de karperachtigen. Kwantitatief lijkt bij deze laatste het tweede segment niet van groot belang voor de eiwitopname, en onderzoek naar de functie van dit darmdeel van maagloze vissen is dringend gewenst. Voorlopig kunnen we misschien gebruik maken van de eigenschap van dit segment om macromoleculen te pinocyteren: vissen kunnen wellicht oraal worden geïmmuniseerd. Ten aanzien van dit laatste idee is de natuur ons overigens voor geweest: bij pasgeboren zoogdieren vindt ook pinocytose plaats, en men neemt aan dat een belangrijk deel der immunoglobulinen van de moeder op het kind worden overgebracht via de moedermelk.

Het lijkt van belang het onderzoek in de toekomst vooral te richten op visselarven, zoals opgemerkt in een rapport van de European Inland Fisheries Advisory Commission (EIFAC). Bij maaghoudende soorten dienen veranderingen in het spijsverteringsproces te worden bestudeerd in samenhang met het functioneel worden van de maag. Dit moment wordt o.a. bepaald door het verschijnen van maagklieren en gastrine producerende cellen in de maag, en secretine producerende cellen in de darm. Verder dient nagegaan te worden of het functioneren van de maag gepaard gaat met het verdwijnen van de pinocytose activiteit in het tweede segment van de darm. Een en ander kan bijdragen tot een beter begrip van de voedselverwerkingsprocessen bij visselarven, wat voor de teelt van vissen van grote betekenis is.

Literatuur

- Noaillac-Depeyre, J., Gas, N., (1976). *Electron microscopic study on gut epithelium of the Tench (Tinca tinca L.) with respect to its absorptive functions*. Tissue Cell, 8, pag. 511-530.
- Rombout, J. H. W. M., Rademakers, L. H. P. M., Hees, J. P. van, (1979). *Pancreatic endocrine cells of Barbus conchionius (Teleostei, Cyprinidae) and their relation to enteroendocrine cells*. Cell. Tiss. Res., 203, pag. 9-23.
- Shcherbina, M. A., Trofimova, L. N., Kazlauskene, O., (1976). *The activity of protease and the resorption of fat into the food of the carp, Cyprinus carpio*. J. Ichthyol., 16, pag. 632-636.
- Stroband, H. W. J., Debets, F. M. H., (1978). *The ultrastructure and renewal of the intestinal epithelium of the grass carp (Ctenopharyngodon idella Val.)*. Cell Tissue Res., 187, pag. 181-200.
- EIFAC-rapport (1979). *Mass rearing of fry and fingerlings of fresh water fishes*. Huisman, E. A., Hogendoorn, H., (red.). Ministerie van Landbouw en Visserij, in druk.

ELEKTRONEN DIFFRACTIE

Met behulp van een
transmissie-
elektronenmicroscop

is het mogelijk om de opbouw van kristallen en de defecten daarin te bestuderen. Elektronen zullen door de atomen waaruit een kristallijn materiaal is opgebouwd, worden verstrooid en aanleiding geven tot bepaalde diffractiepatronen. Uit deze patronen kunnen kristallografische gegevens verkregen worden. Door ontwikkelingen op het gebied van elektronenmicroscopen zal elektronendiffractie een (nog) grotere plaats in het materiaalkundig onderzoek gaan innemen.



J. G. Erlings
*Koninklijke Shell
Laboratorium Amsterdam*

Voor het bestuderen van microscopische defecten in kristalstructuren is transmissie-elektronenmicroscopie (TEM) een uitermate geschikte techniek (zie Van Landuyt, 1977). In dat artikel werd ingegaan op het waarnemen van puntdefecten, dislocaties, antifasegrenzen,

tweelinggrenzen en korrelgrenzen. In dit artikel zullen we echter niet de nadruk leggen op de afbeelding (in het beeldvlak) van kristallen en defecten maar zullen we de geometrie van diffractiepatronen (in het brandvlak) van kristallen en periodieke defecten behandelen.

Een standaard transmissie-elektronenmicroscop (Philips EM 400T) met goniometer. In de goniometer (rechts op de kolom) wordt het preparaat, gemonteerd in een speciale houder, zijdelings in de kolom gebracht.

In de verticale kolom worden bovenin elektronen geëmitteerd, die via een lenzenstelsel door het preparaat gestuurd worden. Met de elektronen die uit het preparaat komen wordt via een tweede lenzenstelsel een afbeelding van het preparaat op het fluorescerend scherm verkregen.

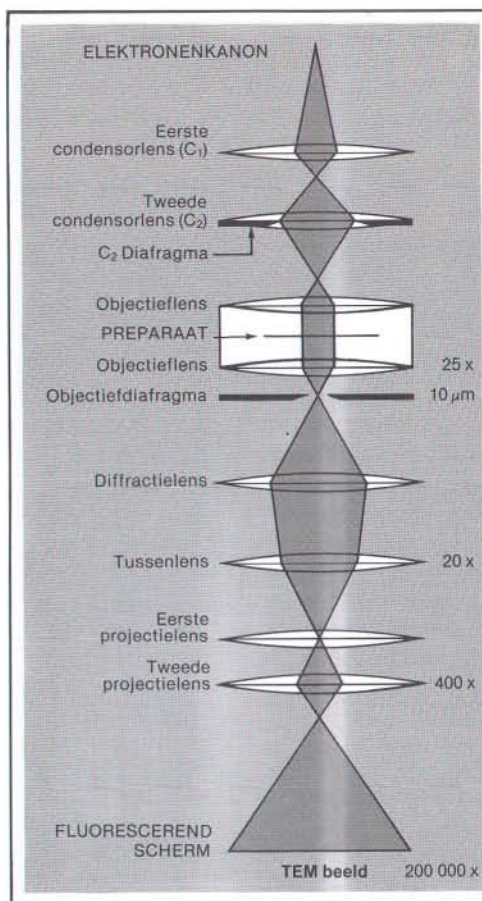
Op de foto rechts zien we een dergelijke afbeelding van een speciale kristalgrens tussen een goud en een goudpalladium kristal.



Uit elektronendiffractie-opnamen kan een aantal kristallografische gegevens verkregen worden. Daarnaast kunnen de stand van het preparaat ten opzichte van de elektronenbundel en oriëntatieverschillen tussen naburige korrels in een polykristallijn materiaal bepaald

worden en is o.a. ook een kwalitatieve identificatie van een bepaalde fase mogelijk. Tevens is het voor de interpretatie van elektronenmicroscopische beelden noodzakelijk te weten hoe het bijbehorende diffractiepatroon er uit ziet.

Rechts is schematisch de elektronenoptiek weergegeven behorende bij de microscopie (Fig. 1) en diffractie-instelling (Fig. 2) van een standaard transmissie-elektronenmicroscop. In beide figuren zijn aangegeven het elektronenkanon, het belichtingssysteem bestaande uit twee condensorenlenzen met bijbehorende diafragma's en een dubbele objectieflens waartussen zich het preparaat bevindt. In Fig. 1 is de stralengang tot aan het fluorescerend scherm getekend; de meeste hoogspanningsmicroscopen halen een totale vergroting van meer dan 200 000 x. Door een andere instelling van de diffractielens, tussenlens en projectie-lenzen wordt het brandvlak van de objectieflens afgebeeld op het scherm (Fig. 2). Daar de onderste drie lenzen hoofdzakelijk voor de vergroting van het diffractiepatroon dienen, zijn ze in Fig. 2 weggelaten. De gestippelde bundel is een zgn. gediffracteerd bundel (zie verderop). Indien er meerdere gediffracteerd bundels zijn, bestaat het diffractiepatroon uit een verzameling stippen. Het selected area diafragma begrenst het gebied van het preparaat, dat de diffractie-informatie oplevert. Door diafragma's van verschillende groottes te gebruiken, is het mogelijk de grootte van het te onderzoeken gebied te variëren. Doordat de gebruikte lenzen echter niet perfect zijn, moet dit gebied een minimale diameter hebben van 1 μm . Een andere diffractietechniek zal aan het eind van dit artikel genoemd worden.

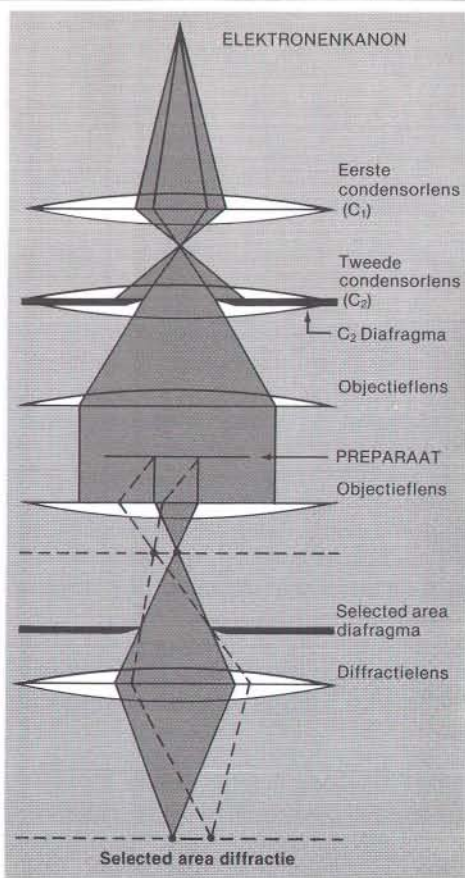


Elektronendiffractie

Het verschijnsel elektronendiffractie (= verstrooiing van elektronen) houdt direct verband met het golfkarakter van de elektronen die door het elektronenkanon geëmitteerd worden. De relativistische golflengte van de elektronen is afhankelijk van de gebruikte hoogspanning. Voor een versnellingspanning van 100 kV is deze golflengte 0,0037 nm.

Elektronendiffractie is een gevolg van de wisselwerking van de elektronen met de atomen, waaruit het object is opgebouwd. Als de elektronen elastisch (zonder verlies van energie) verstrooid worden, kunnen door interferentie gediffracteerd bundels ontstaan waarvan de richtingen gegeven zijn door de Wet van Bragg. Wanneer wij aannemen dat een kristallijn object opgebouwd is uit een aantal vlakkenscharen (sets van elkaar niet snij-

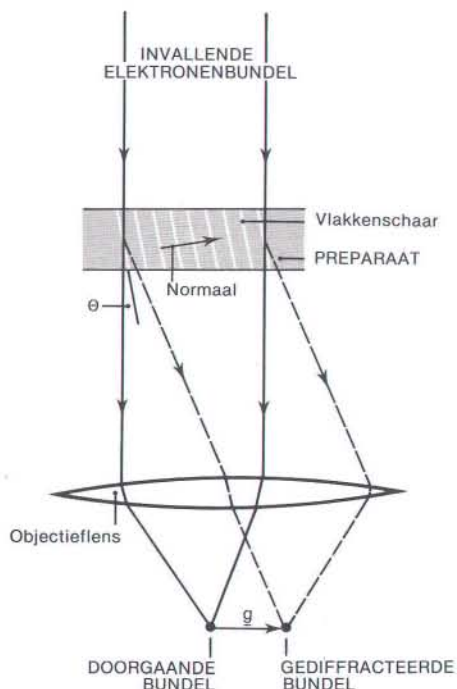
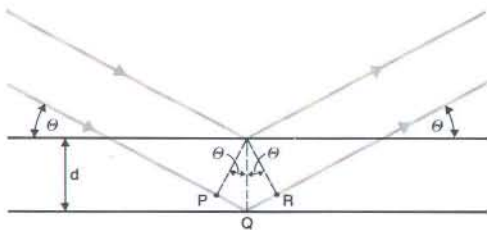
dende vlakken), dan kunnen wij de Wet van Bragg eenvoudig afleiden uit Fig. 3. Hierin zijn twee vlakken van een vlakkenschaar met onderlinge afstand d getekend waarbij een elektronenbundel met golflengte λ onder een hoek Θ invalt. De aan de twee vlakken verstrooide elektronen zullen met elkaar interfereren, waarbij versterking optreedt indien het weglengteverschil λ of een veelvoud daarvan ($n\lambda$) bedraagt. In de tekening is het weglengteverschil tussen de twee getekende stralen $PQ + QR$. Aangezien $PQ = QR = d \sin \Theta$ is, geldt dat $PQ + QR = 2 d \sin \Theta$ (d is de afstand tussen twee vlakken). Indien versterking optreedt, moet $2 d \sin \Theta = n\lambda$ zijn (Wet van Bragg). Uit deze formule volgt direct de hoek die de doorgaande bundel (deze wordt gevormd door die elektronen die niet met de ato-



Linksboven: Fig. 1. De stralengang van de elektronenbundel voor de beeldvorming in de transmissie-elektronenmicroscop.

Boven: Fig. 2. De stralengang van de elektronenbundel voor diffractie in de transmissie-elektronenmicroscop.

Onder: Fig. 3. De elastische verstrooiing van een elektronenbundel aan een vlakkenschaar. Versterking zal optreden als het weglengteverschil is $PQ + QR = n\lambda$ of $2d \sin \theta = n\lambda$ ($n =$ geheel getal)

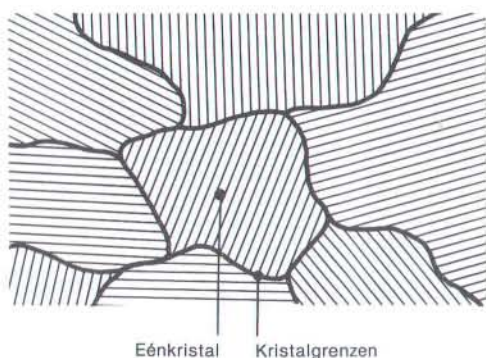


Boven: Fig. 4. Een invallende elektronenbundel die diffracteert aan een bepaalde vlakkenschaar veroorzaakt een stip in het diffractiepatroon. Deze stip ligt op een plaats gegeven door g ten opzichte van de doorgaande bundel.

men van het kristal botsen en waarbij dus geen richtingsverandering optreedt) en de gediffracteerd bundel met elkaar maken; bijv. als $d = 0,144 \text{ nm}$, $n = 1$ en $\lambda = 0,0037 \text{ nm}$, dan is $\theta = 0,74^\circ$. Dit betekent dat Bragg-diffractie slechts optreedt aan die vlakken, die binnen een paar graden evenwijdig liggen aan de invallende bundel (zie Fig. 4). De vector g (de verschilvector van de doorgaande en de gediffracteerd bundel) staat dus bijna evenwijdig aan de normaal op de beschouwde vlakkenschaar (de normaal van een vlak is een vector loodrecht op dat vlak). Deze g -vectoren noemen wij reciproke roostervectoren; zij hebben een lengte gelijk aan de reciproke van de grootte van de afstand tussen de vlakken, dus $|g| = 1/d$ (met $|g|$ geven we de lengte van een vector aan).

De opbouw van metalen

Om elektronendiffractie aan metalen te kunnen beschrijven, is het noodzakelijk de structuur van metalen wat nader te bekijken. Bijna alle gebruikte metalen en metaallegeringen in de techniek zijn polykristallijn, dat wil zeggen dat zij zijn opgebouwd uit éénkristallen; tussen de éénkristallen bevinden zich korrelgrenzen (zie Fig. 5). In de éénkristallen en op de korrelgrenzen kunnen nog de nodige verstoringen aanwezig zijn, bijv. dislocaties, uitgescheide deeltjes, verontreinigingen, enz. Deze bijzonder belangrijke verschijnselen zullen wij hier echter niet nader bespreken. Uit de hiervoor genoemde vlakken scharen kunnen éénkristallen worden opgebouwd.



Rechts: Het diffractiepatroon van een kristalgrens waarin een grote periodiciteit aanwezig is. Deze grote periodiciteit is de oorzaak van de korte afstand tussen de stippen die op de foto zichtbaar zijn.

Links: Fig. 5. Een schematische voorstelling van een polykristallijn materiaal. De afmetingen van de éénkristallen kunnen variëren tussen kleiner dan $1\text{ }\mu\text{m}$ en groter dan enige mm. De breedte van de kristalgrenzen ligt in de orde van grootte van enige atoomafstanden.



De structuur van metaal éénkristallen

In éénkristallen zijn de atomen ordelijk gerangschikt in rijen en vlakken. Hierdoor is het mogelijk het kristal te verdelen in parallellepipedalen die samen de gehele ruimte vullen en waarbij in ieder parallellepipedum op dezelfde plaats hetzelfde soort atoom zit. Om de rangschikking van de atomen in een willekeurig kristal te weten te komen, moet men eerst weten: de vorm van het parallellepipedum, meestal eenheidscel genoemd en de plaats van de diverse atomen in de eenheidscel, waarbij er dan meestal een atoom op het hoekpunt gekozen wordt. De eenheidscel is gedefinieerd door de lengte van de drie ribben (in het algemeen a, b en c genoemd die een lengte hebben van enkele tienden nanometer) en de hoeken tussen deze ribben α , β en γ , waarbij α de hoek is tussen de

ribben b en c, β de hoek tussen c en a en γ de hoek tussen a en b. Afhankelijk van de vorm van de eenheidscel onderscheidt men zeven kristalstelsels, waarvan voor metalen de volgende twee van belang zijn: het kubische kristalstelsel, waarbij de ribben van de eenheidscel een gelijke lengte hebben en loodrecht op elkaar staan ($a=b=c$; $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$) en het hexagonale kristalstelsel, waarbij $a=b \neq c$; $\alpha=\beta=90^\circ$, $\gamma=120^\circ$. Voor de beschrijving van de kristalstructuur wordt vaak gebruik gemaakt van een vectorbeschrijving van de eenheidscel. Wij vervangen dan de drie ribben van de eenheidscel, die één punt gemeenschappelijk hebben, door drie vectoren \vec{a} , \vec{b} en \vec{c} . Deze vectoren geven ieder drie onafhankelijke grootheden aan. Voeren wij namelijk een willekeurig assenkruis x y z in, dan geven de vec-



toren zowel de x- als de y- als de z-componenten aan. Het gemeenschappelijke punt noemen we de oorsprong (0). Hiermee zijn dus de vier hoekpunten van de eenheidscel vastgelegd nl. 0, a, b en c.

De belangrijkste metaalstructuren zijn (zie Fig. 6):

- Kubisch vlakken gecentreerd (k.v.g.). Hier is de éénheidscel kubisch en zitten er atomen op de posities 000, $\frac{1}{2} \frac{1}{2} 0$, $\frac{1}{2} 0 \frac{1}{2}$ en $0 \frac{1}{2} \frac{1}{2}$. Er zitten dus atomen op de hoekpunten van de kubus en op de middens van de zijvlakken. Per kubus zijn vier atomen aanwezig. Alle andere getekende atomen in de kubus van Fig. 6 maken deel uit van kubussen die grenzen aan de getekende kubus. De metalen koper, zilver, goud, aluminium, paladium en nikkel hebben een kristalrooster met deze structuur.

- Kubisch ruimtelijk gecentreerd (k.r.g.). In de kubische éénheidscel zijn atomen aanwezig op de posities 000 en $\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}$. Per kubus zijn twee atomen aanwezig. Wanneer je er nog alle omliggende kubussen bij denkt, dan is het duidelijk dat de atomen liggen op de hoekpunten en in het midden van de kubus. In deze structuur kristalliseren o.a. lithium, natrium, kalium, chroom, molybdeen en vanadium.

- Hexagonaal. De vulling van deze cel is 000 en $\frac{1}{3} \frac{2}{3} \frac{1}{2}$. Hierin kristalliseren o.a. beryllium, magnesium, zink, cadmium en titaan.

Miller-indicering

Voor het aangeven van richtingen en vlakken in éénkristallen wordt meestal de Miller-indicering gebruikt. De Miller-index voor een

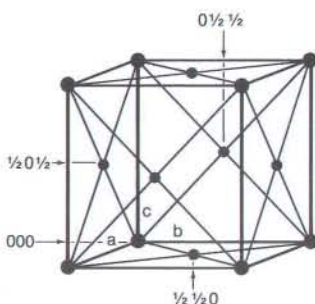
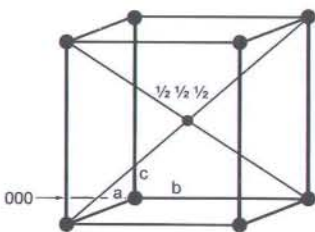
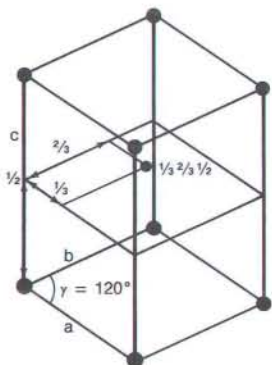


Fig. 6.

Kubisch vlakken gecentreerde structuur.



Kubisch ruimtelijk gecentreerde structuur.



Hexagonale structuur.

willekeurige richting in het kristal wordt geschreven als $[hkl]$ (zie Fig. 7). Verdelen wij namelijk in gedachten het kristal in eenheidscellen en trekken wij door een hoekpunt een rechte evenwijdig aan de aan te geven richting, dan zal deze ook door andere hoekpunten gaan. In vectornotatie gaat de rechte dan door de punten 000 en $h\mathbf{a} + k\mathbf{b} + l\mathbf{c}$. De richting van de positieve a -as wordt dus geschreven als $[100]$, de a -as in negatieve richting als $[\bar{1}00]$ (het streepje boven de 1 geeft aan dat het getal negatief moet worden genomen).

Door een hoekpunt gaan acht lichaamsdiagonalen, namelijk de lichaamsdiagonalen van de acht in dat hoekpunt samenkomende eenheidscellen. De Miller-indices voor deze acht richtingen zijn: $[111]$, $[\bar{1}\bar{1}\bar{1}]$, $[\bar{1}11]$, $[1\bar{1}\bar{1}]$, $[1\bar{1}1]$, $[\bar{1}1\bar{1}]$, $[11\bar{1}]$ en $[\bar{1}\bar{1}1]$. In kubische kristallen zijn deze acht richtingen gelijkwaardig. Als wij slechts willen aangeven dat wij met een lichaamsdiagonaal te maken hebben en niet nader specificeren welke van de acht (omdat dit niet belangrijk is), dan schrijven wij $\langle 111 \rangle$ en in het algemeen $\langle hkl \rangle$.

Om de oriëntatie van een vlak aan te geven, kiezen wij een daaraan evenwijdig vlak dat niet door de oorsprong gaat en bepalen hoe groot de stukken zijn die van de assen afgesneden worden in fracties van de assenlengten. Als Miller-indices van dat vlak geven wij dan de reciproke waarden van deze fracties en schrijven dan (hkl) (zie Fig. 7). Dit vlak snijdt van de a -as een stuk af van a/h , van de b -as een stuk b/k en van de c -as een stuk c/l . Omdat niet aangegeven is hoe ver het te kiezen vlak van de oor-

sprong af ligt, zou een andere keuze ook mogelijk geweest zijn en waren andere getallen h , k en l te voorschijn gekomen; de verhouding tussen deze getallen was evenwel dezelfde gebleven. Wij kiezen h , k en l bij een gegeven verhouding zó, dat de grootste gemene deler gelijk één is. Een vlak evenwijdig aan de a - en b -as wordt aangegeven met (001) . Immers het vlak, dat hieraan evenwijdig is, door het punt c snijdt de a -as en de b -as in het oneindige: $1/h = 1/k = \infty$ waaruit volgt dat $h = k = 0$. Ofwel: het vlak snijdt van de a - en b -as een oneindig groot stuk af. Van de c -as wordt een stuk met fractie één afgesneden dus $l = 1$. Gelijkwaardige vlakken geven we aan met $\{hkl\}$. Indien wij een vlakken-schaar aan willen geven, gebruiken wij de Miller-indices van het vlak dat het dichtst bij de oorsprong ligt.

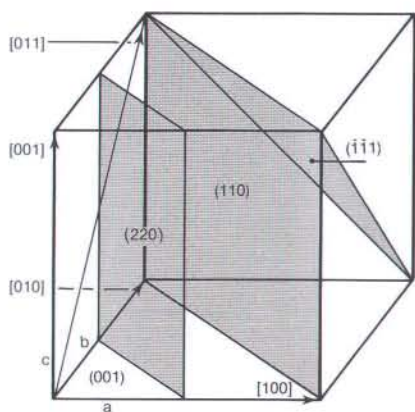
In kubische kristallen geldt dat het vlak (hkl) loodrecht staat op de richting $[hkl]$ en uiteraard ook het omgekeerde. De hoek ξ tussen de richtingen $[hkl]$ en $[pqr]$ is eenvoudig uit te rekenen met behulp van het scalaire vectorproduct:

$$\cos \xi = (hp + kq + lr) / \{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \cdot \sqrt{p^2 + q^2 + r^2}\} \quad (1)$$

De afstand d tussen de vlakken in de vlakken-schaar (hkl) is gegeven door:

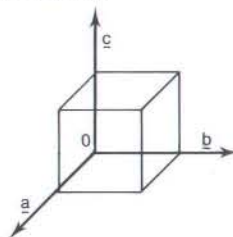
$$d = a / \sqrt{h^2 + k^2 + l^2} \quad (2)$$

waarin a de ribbe van de eenheidskubus is. Voor hexagonale kristallen geldt een afwijkende notatie. Deze notatie zullen we hier verder niet behandelen.



Links: Fig. 7. De Miller-indicering van enige vlakken en inrichtingen in een kubische cel. De vlakken zijn aangegeven met (hkl) en de richtingen met $[hkl]$.

Rechts: Fig. 8. Het kristal- en het reciproke rooster voor een kubisch kristal. Twee vectoren in de reciproke ruimte $g_{(200)}$ en $g_{(111)}$ zijn als voorbeeld getekend. Alleen k.v.g. reflecties zijn aangegeven.



De geometrie van diffractiepatronen

In het hoofdstuk over elektronendiffractie is reeds opgemerkt dat de positie van diffractiestippen gegeven wordt door reciproke roostervectoren \mathbf{g} . Met behulp van vergelijking (2) vinden wij nu:

$$|\underline{g}| = \frac{1}{d} = \frac{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}{a}$$

Als de vectoren \mathbf{a}^* , \mathbf{b}^* en \mathbf{c}^* de éénheidscel geven van het reciproke rooster dan kan ieder reciprook roosterpunt beschreven worden door een vector van de vorm:

$$g = h a^* + k b^* + l c^*$$

met h, k, l als Miller-indices van de reflecterende vlakken. Het verband tussen het kristal en het reciproke rooster voor een kubisch vlakken gecentreerd kristal is gegeven in Fig. 8.

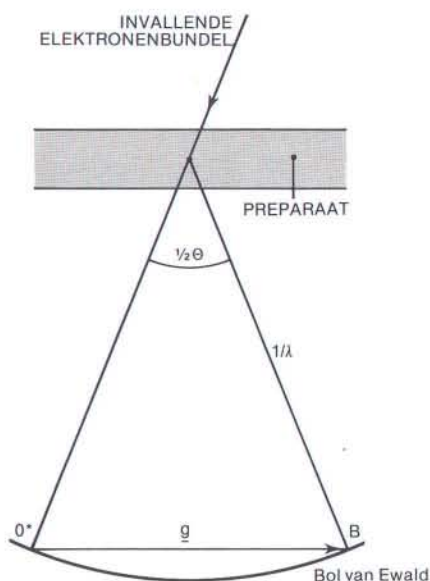
De intensiteit van een gediffracteerde bundel is afhankelijk van de vorm, het volume, de perfectie van het kristal en de vulling van de eenheidscel. Na enig rekenwerk blijkt dat voor kubische cellen de Miller indices aan bepaalde voorwaarden moeten voldoen omdat anders uitdoving optreedt. Deze voorwaarden zijn:

- voor een kubisch ruimtelijk gecentreerd kristal moet $(h + k + l)$ een even getal opleveren;
 - voor een kubisch vlakken gecentreerd kristal moeten h, k, l allen even of oneven zijn.
- In de tabel op de volgende pagina zijn voor het k.v.g. rooster en het k.r.g. rooster deze gegeven gerangschikt.

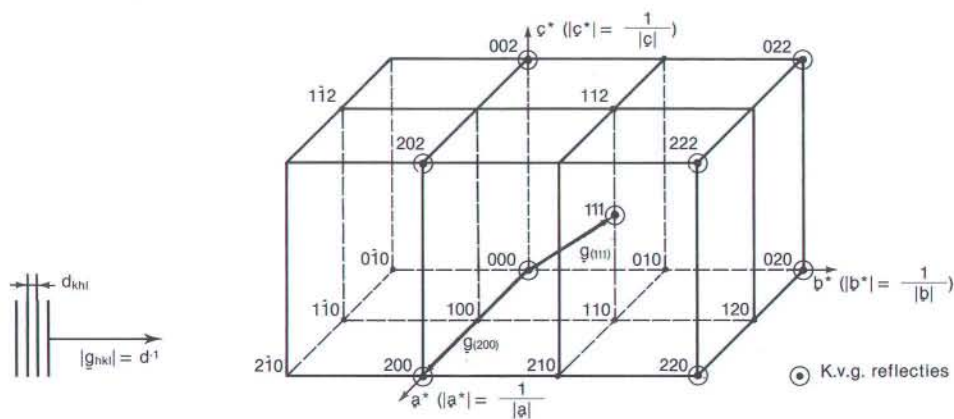
De bol van Ewald

Als een bol met straal $1/\lambda$ en met het middelpunt in het preparaat gelegen, door de oorsprong van de reciproke ruimte gaat, dan volgt uit Fig. 9 dat de vector $\underline{g} = 0^*B$ twee punten van het boloppervlak verbindt als

$$\sin \Theta = \frac{|g|}{2} / \frac{1}{\lambda} \quad \text{en} \quad 2d \sin \Theta = \lambda$$



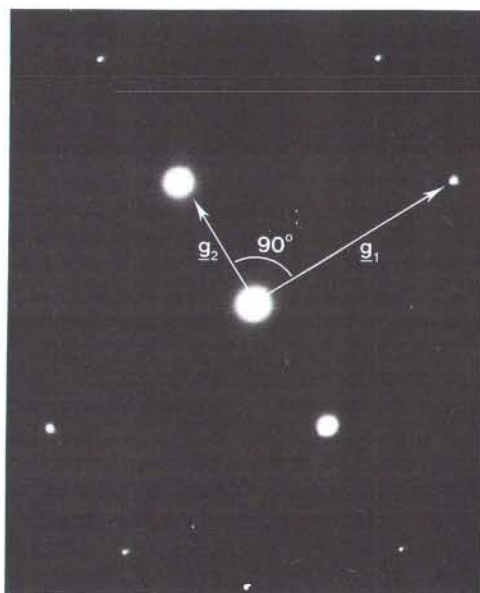
Boven: Fig. 9. De vector g voldoet aan de wet van Bragg indien hij twee punten op het oppervlak van de bol van Ewald verbindt.



TABEL Overzicht van de $h k l$ waarden (tot $(h^2 + k^2 + l^2) = 27$) waarvoor diffractie kan optreden aan een kubisch ruimtelijk gecentreerd en een kubisch vlakken gecentreerd kristal.

Kubisch ruimtelijk gecentreerd kristal		Kubisch vlakken gecentreerd kristal		
$h k l$	$h^2 + k^2 + l^2$	$h k l$	$h^2 + k^2 + l^2$	$\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$
110	2			1,414
		111	3	1,732
200	4	200	4	2,000
211	6			2,449
220	8	220	8	2,828
310	10			3,162
		311	11	3,317
222	12	222	12	3,464
321	14			3,742
400	16	400	16	4,000
411, 330	18			4,243
		331	19	4,359
420	20	420	20	4,472
332	22			4,690
422	24	422	24	4,899
431, 510	26			5,099
		511, 333	27	5,196

Diffractie treedt nu op als de bol van Ewald door 0^* en een ander punt van het reciproke rooster gaat, waarvoor aan de uitdovingsvoorwaarden voldaan is. Daar de straal van de bol van Ewald zeer groot is (bij 100 kV is deze $2,703 \text{ nm}^{-1}$) in verhouding tot de g vectoren (voor een (200) reflectie van goud ($a = 0,407 \text{ nm}$) is $g = 0,05 \text{ nm}^{-1}$), kunnen wij de bol in een groot gebied om de oorsprong als vlak veronderstellen. Diffractie kunnen we nu beschrijven door de doorsnijding van een plat vlak door het reciproke rooster, waarbij de normaal op dit vlak evenwijdig is aan de invallende bundel.



Analyse van elektronendiffractiepatronen

Voor de analyse van diffractiepatronen maken wij gebruik van de verhouding van de lengten van reciproke roostervectoren en de hoeken die deze vectoren met elkaar maken. Indien wij met een materiaal werken waarvan wij de roosterconstante a niet weten, is het noodzakelijk een extra gegeven te introduceren nl. de cameraconstante. Met behulp van deze constante kunnen wij, indien bekend is welke reflectie beschouwd wordt, de roosterconstante vrij nauwkeurig bepalen.

Als wij ons beperken tot het kubische vlakken gecentreerd kristal en wij meten in diffractiepatronen (zoals de foto's onder voor een Au éénkristal) de lengten van de g -vectoren en de hoeken tussen deze vectoren, dan kunnen deze patronen vrij eenvoudig geanalyseerd worden. Voor de verhouding van de lengten geldt namelijk:

$$\frac{|g_1|}{|g_2|} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\sqrt{h_1^2 + k_1^2 + l_1^2}}{\sqrt{h_2^2 + k_2^2 + l_2^2}}$$

waarbij de indices 1 en 2 reflectie 1 en 2 aanduiden. Daar er volgens de tabel maar een beperkt aantal verhoudingen mogelijk is, volgen hieruit al direct de Miller-indices van de reflec-

ties (dus van de vlakkenscharen). Voor de indicering van het gehele patroon moet in de regel nog gebruik gemaakt worden van het scalaire produkt van een aantal vectoren, zoals gegeven in vergelijking (1), om de indicering consistent te maken. Een dergelijke analyse is in de bij-schriften van de foto's uitgevoerd.

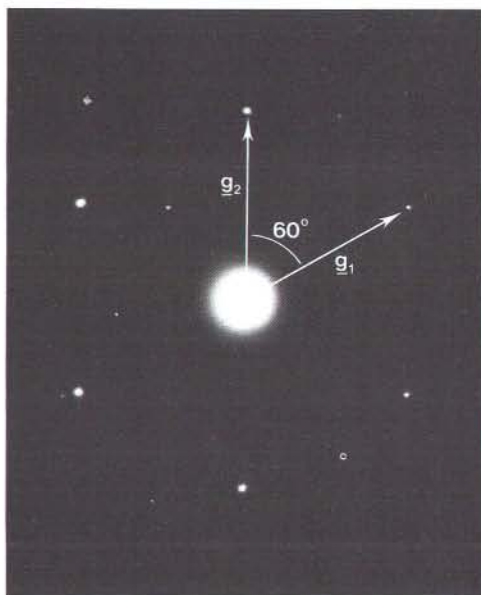
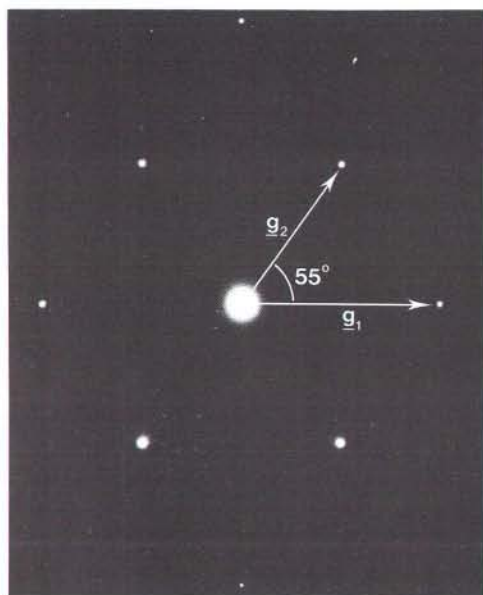
Geheel linksonder: Indien we g_2 als (111) indiceren moet g_1 (220) zijn, daar de hoek tussen g_1 en g_2 90° is. De richting van de invallende bundel, die volgt uit het vectorprodukt, is [112].

$$\frac{|g_1|}{|g_2|} = \frac{32}{19,5} = 1,64 = \frac{|g_{(220)}|}{|g_{(111)}|}$$

Linksonder: Als g_1 is (002) en g_2 is (111) dan is de hoek tussen g_1 en g_2 $54,73^\circ$, hetgeen goed klopt met het diffractiepatroon. De richting van de invallende bundel is [110].

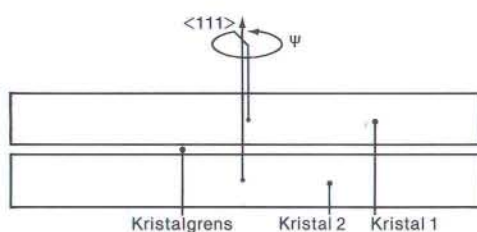
$$\frac{|g_1|}{|g_2|} = \frac{2,65}{2,35} = 1,13 \approx 1,15 = \frac{|g_{(200)}|}{|g_{(111)}|}$$

Onder: Hier is $|g_1| = |g_2|$. Nu volgt met behulp van de cameraconstante dat g_1 en g_2 overeenkomen met {220} reflecties. Een mogelijke indicering, die klopt met de hoek van 60° , is g_1 is (220) en g_2 is (202); de richting van de invallende elektronenbundel is [111].



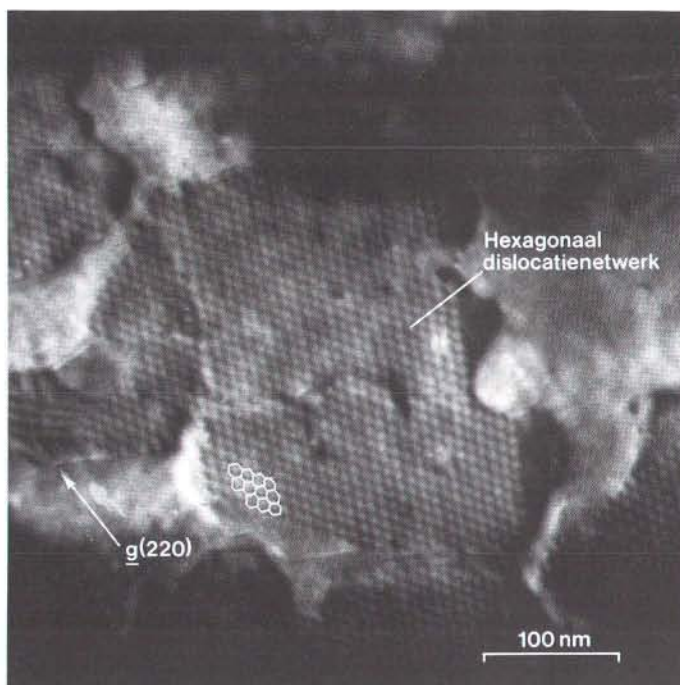
Elektronendiffractie aan speciale kristalgrenzen

In een aantal speciale kristalgrenzen komen periodiek gerangschikte dislocaties of regelmatige dislocatienetwerken voor (zie voor het begrip dislocatie het artikel van Van Landuyt). Een voorbeeld van een dislocatienetwerk in een Au-preparaat zien we op de foto hieronder. Het preparaat heeft een geometrie zoals weergegeven in Fig. 10, waarbij opgemerkt moet worden dat het netwerk zich niet over de

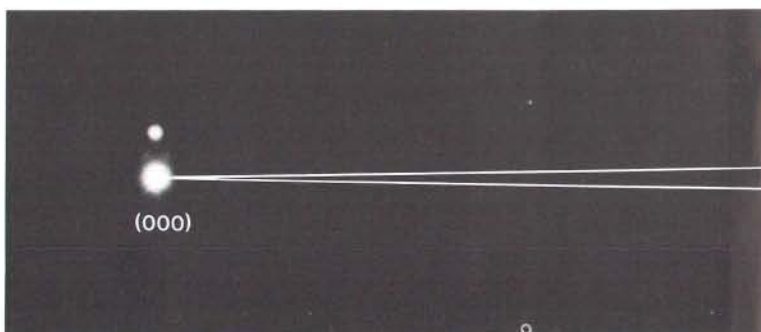


Boven: Fig. 10. De geometrie van het preparaat dat afgebeeld is op de foto's hieronder en rechtsonder. Kristal 1 en 2 zijn ten opzichte van elkaar om de $\langle 111 \rangle$ richting ψ° gedraaid.

Rechts: Een afbeelding van een kleine hoek-torsiegrens (zie Fig. 10) in een goud-preparaat. Het zes-kantige netwerk komt overeen met een dislocatienetwerk.



Rechts: Het diffractiepatroon van het preparaat van de foto's rechtsboven.



gehele grens uitstrekt. Dit is een gevolg van de manier waarop deze preparaten gemaakt zijn. De foto linksonder is een afbeelding van een kleine hoektorsiegrens, waarvoor voor de afstand tussen de dislocaties (d_D) geldt:

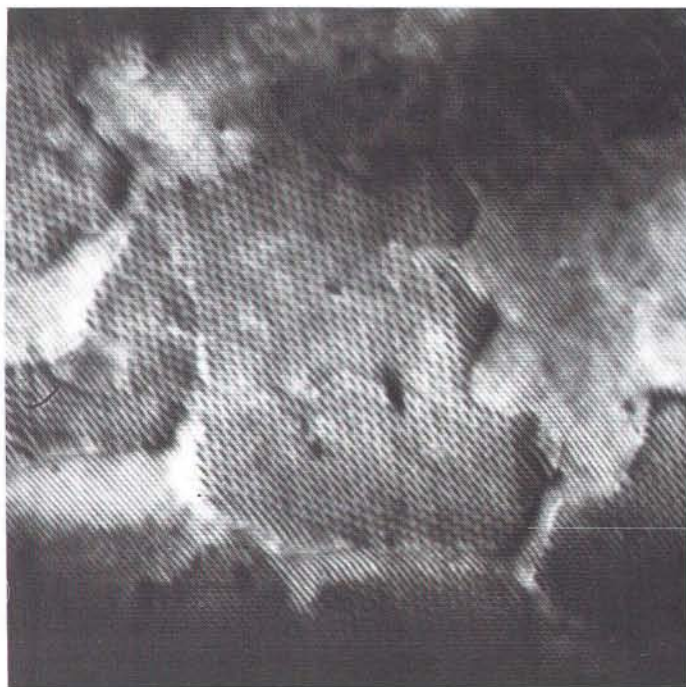
$$d_D = \frac{a}{\sqrt{8} \sin \psi/2}$$

en de lijnrichting van de dislocaties is evenwijdig aan de $\langle \bar{2}20 \rangle$ vectoren.

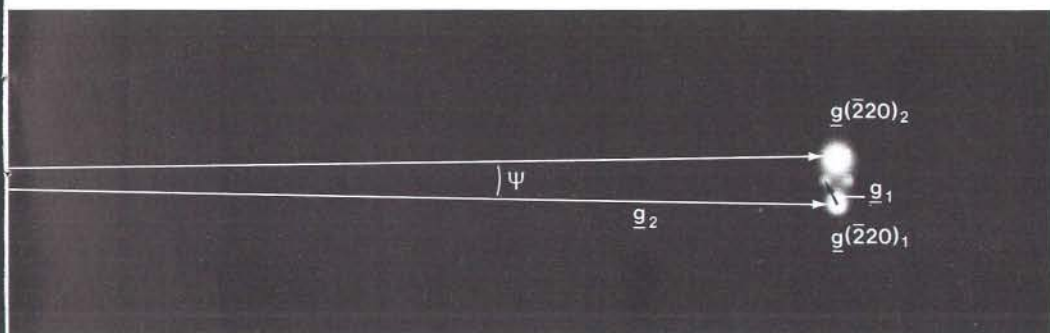
Uit het bijbehorende diffractiepatroon (foto geheel onder) waar de (000) , $(\bar{2}20)_1$ en $(\bar{2}20)_2$ re-

flecties aangegeven zijn, kan de torsiehoek bepaald worden. In dit geval is deze hoek $1,76^\circ$ wat overeenkomt met de uit de gemeten afstand (9,4 nm) bepaalde hoek. Dit dislocatienetwerk wordt door de elektronenbundel ook als een periodiciteit gezien. De bundel diffracteert aan dit netwerk hetgeen resulteert in extra reflecties (foto geheel onder). De verhouding $|g_1|/|g_2|$ gemeten op deze foto is 0,015 hetgeen goed overeenkomt met

$$\frac{d(\bar{2}20)}{d_D} = \frac{1,43}{94} = 0,015$$



Links: Dezelfde grens als op de foto geheel links. Nu is in het beeld zowel interferentie- als dislocatiecontrast zichtbaar. Wanneer we deze grens op de foto geheel links met die op de foto hiernaast vergelijken dan zijn de afzonderlijke dislocaties niet meer zichtbaar, terwijl in de gebieden waar geen dislocaties aanwezig waren nu duidelijk de Moiré patronen waarneembaar zijn.



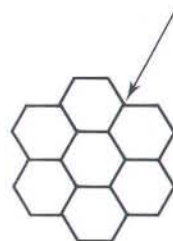
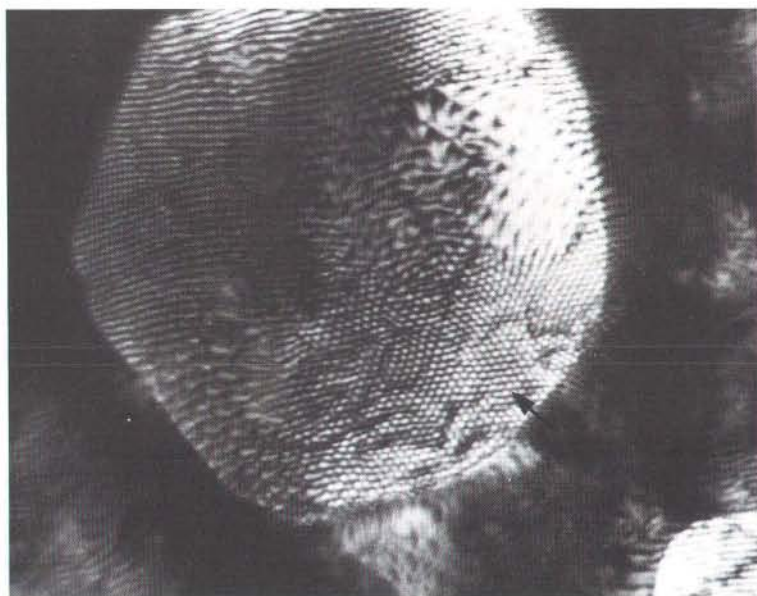
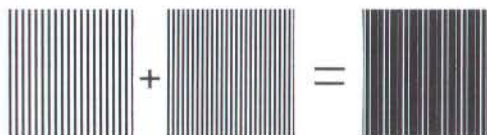


Fig. 12

Onder: Fig. 11. De interferentiepatronen van twee vlakverscharen die over een kleine hoek ten opzichte van elkaar gedraaid zijn.

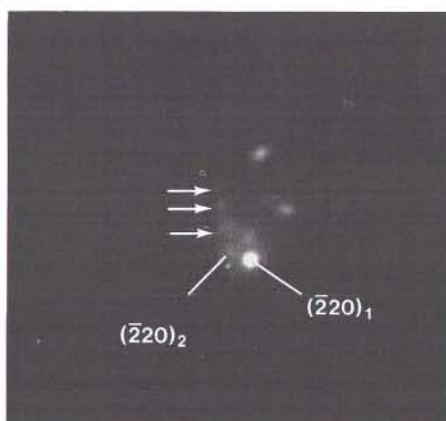
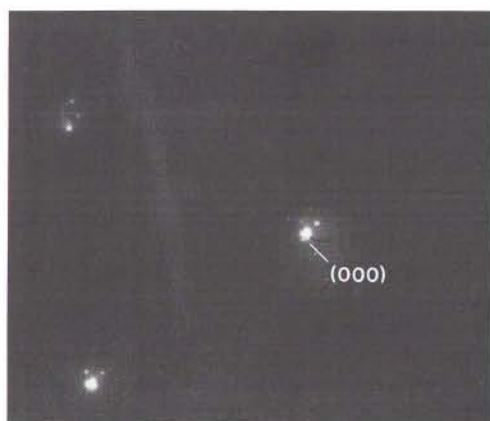


Geheel rechts: Diffractie van 'superstructuren' kan tot zeer gecompliceerde patronen leiden, omdat door de stand van de kristallen een zeer grote nieuwe periodiciteit gevormd wordt. Dit leidt tot hele korte afstanden tussen de stippen in het diffractiepatroon.

Op de foto op pag. 66 is voor de beeldvorming slechts gebruik gemaakt van de $(\bar{2}20)$ reflectie van kristal 1. Indien beide $(\bar{2}20)$ reflecties gebruikt worden, zien we in het beeld behalve dislocatiecontrast ook interferentiecontrast als gevolg van de wisselwerking van beide bundels. Het ontstaan van dit interferentiecontrast (Moiré patronen) is schematisch toegelicht in Fig. 11.

Een voorbeeld van een dislocatienetwerk in een epitaxiale grens tussen een Au en een AuPd éénkristal zien we op de foto hierboven. In een epitaxiale grens staan de twee grensvormende kristallen in exact dezelfde stand; zij hebben echter een andere roosterconstante waardoor op de grens de kristallen niet goed meer op elkaar passen. Op de foto komt dit niet goed passen tot uiting in de vorming van een dislocatienetwerk. De aan dit netwerk gediffracteerde elektronen kunnen wij in het vergrote deel van het diffractiepatroon weer terug vinden.

In een aantal zeer speciale kristalgrenzen is de stand van de kristallen zodanig dat een zeer grote nieuwe periodiciteit gevormd wordt. Diffractie aan een dergelijke grote periode leidt tot hele korte afstanden in diffractiepatronen. Een voorbeeld zien wij op de foto rechts.



Een dislocatienetwerk in een epitaxiale Au/AuPd grens; bij de pijl is het netwerk duidelijk zichtbaar. In Fig. 12 is dit nog eens schematisch weergegeven. Het diffractiepatroon van het preparaat van de foto geheel links is op de opname hierboven weergegeven. De

foto hierboven is een vergroting van het gebied linksboven op de vorige foto. De reflecties als gevolg van de wisselwerking tussen het dislocatienetwerk en de elektronenbundel zijn met pijlen aangegeven.



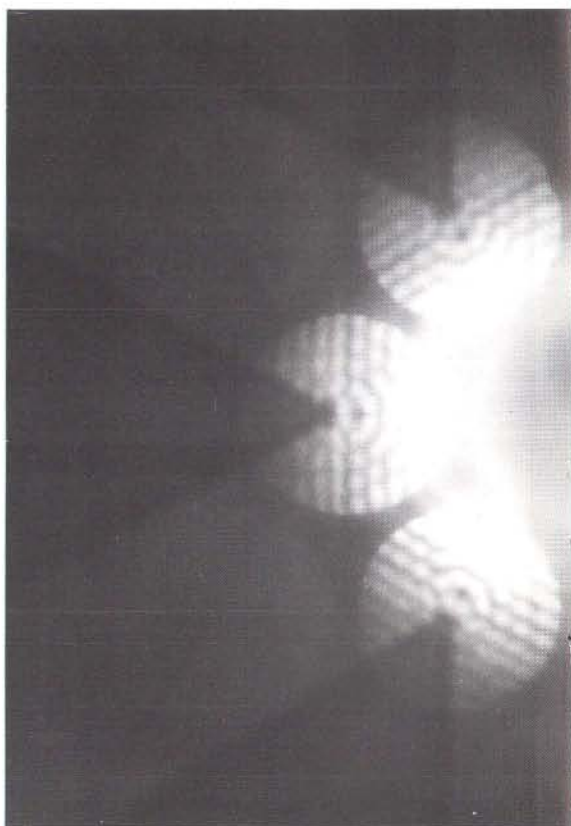
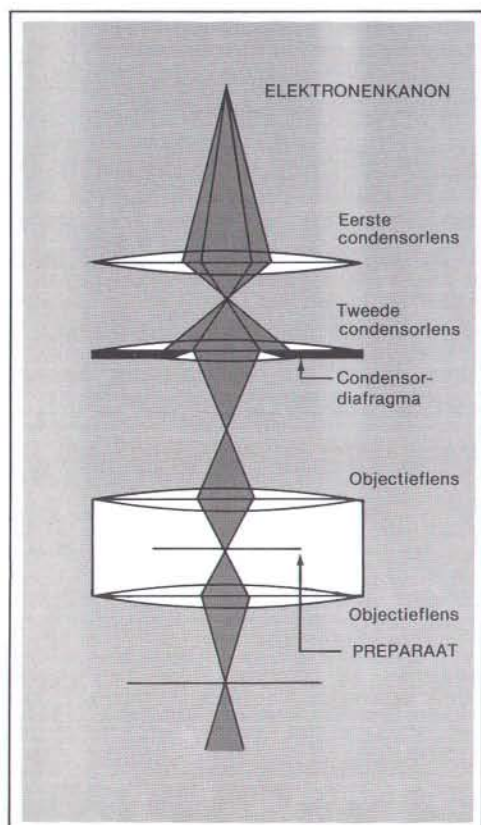
Convergent beam diffractie

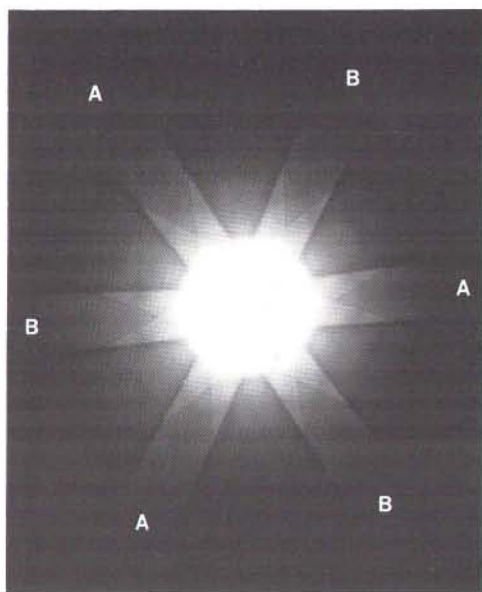
In de tot nu toe besproken selected area diffractie werd het preparaat door een evenwijdige bundel belicht. Vormen de invallende elektronen een convergerende bundel (Fig. 13), dan kan uit de diffractiepatronen informatie over o.a. de symmetrie van de éénheidscellen verkregen worden. Voorbeelden van convergent beam diffractiepatronen zien we op de foto's op deze pagina's. Op de foto rechts-onder is het middelste gedeelte van de foto rechts afgedrukt. Doordat op deze foto de zes $\{220\}$ reflectieschijven exact dezelfde zijn, lijkt het alsof de normaal door (000) op dit diffractiepatroon een zestallige as is (bij een rotatie van 60° om een zestallige as ontstaat exact dezelfde situatie als voor rotatie aanwezig was). Dat de normaal geen zes- maar een drietallige as is, blijkt uit de verder van de oorsprong gelegen informatie op de foto rechts. De met

Linksonder: Fig. 13. De stralengang behorende bij convergent beam diffractie. De elektronenbundel wordt op het preparaat gefocussieerd, waarbij de convergentiehoek bepaald wordt door het tweede condensordiafragma.

Onder: Een convergent beam diffractiepatroon. De invallende elektronenbundel is evenwijdig aan de $\langle 111 \rangle$ richting. De zes schijven, waarin ook structuur zichtbaar is, zijn $\{220\}$ reflecties.

Rechts: Dezelfde foto als de foto onder; nu is echter een groter deel van het reciproke rooster zichtbaar.





een A en B aangegeven plaatsen komen hier niet om de 60° maar om de 120° voor.

Selected area diffractie heeft de afgelopen decennia een grote bijdrage geleverd aan het metaalkundig onderzoek en wordt mede daardoor op wijd verbreide schaal toegepast.

Met de komst van de nieuwste generatie elektronenmicroscopen zijn ook andere diffractietechnieken mogelijk geworden, zoals o.a. micro-microdiffractie. Met deze techniek kan de minimale grootte van het geselecteerde gebied afnemen tot ongeveer 10 nm, waardoor ook diffractie op microschaal een feit is geworden. Technieken die aanvullende informatie opleveren zoals o.a. convergent beam diffractie kunnen met deze nieuwe instrumenten standaard worden toegepast. Door deze nieuwe ontwikkelingen zal elektronendiffractie in de toekomst zeker een nog grotere plaats innemen in het materiaalkundig onderzoek.



Literatuur

- Van Landuyt, J., (1977). *Defecten in kristallijne materialen op atoomschaal 'zien'*. Natuur en Techniek 45, 2, pag. 104.
- Thomas, G., (1976). *Electron Microscopy in Materials Science*, Third Course on the International School of Electron Microscopy, Commission of the European Communities, eds. U. Valdré en E. Ruedl, pag. 177.
- Penning, P., (1968). *Collegediktaat I Structuur I*. Delft.
- Hirsch, P. B., Howie, A., Nicholson, R. B., Pashley, D. W., Whelan, M. J., (1965). *Electron Microscopy of Thin Crystals*. Londen Butterworths.
- Erlings, J. G., (1979). *A Study of Crystalline Interfaces by Means of Transmission Electron Microscopy and Electron Diffraction*. Thesis. Delft.

Bronvermelding illustraties

N.V. Philips Gloeilampenfabrieken, Laboratorium voor Elektronenmicroscopie, Eindhoven: pag. 56-57 (TEM microscop).

Alle overige illustraties zijn afkomstig van de auteur.

J. de Witte,
*Afdeling Voorlichting
Ministerie voor
Wetenschapsbeleid*

Maatschappelijke gevolgen van de micro-elektronica

Rapport Commissie Rathenau:

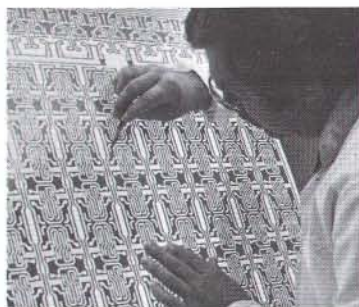
Snel handelen op een breed front

"Velen verwachten dat micro-elektronica als het meest revolutionaire technische element van het laatste kwart van deze eeuw de samenleving ingrijpend zal veranderen. Welke deze veranderingen zullen zijn en hoe ze zullen plaatsvinden, laat zich moeilijk beschrijven en voorspellen. De richting waarin de technische ontwikkelingen zullen gaan, zijn nog wel eniger mate aan te geven, maar de gevolgen voor economie en werkgelegenheid zijn al veel moeilijker te schatten, terwijl uitspraken met betrekking tot de sociale en culturele invloeden niet anders dan speculatief kunnen zijn. Hoop en vrees wisselen elkaar af, kunnen beide worden beargumenteerd, maar met argumenten die eveneens speculatief zijn. Het enige zekere is: onzekerheid."

Prof. dr.
G. W. Rathenau,
voorzitter van de
Adviesgroep.
Bij het instellen van
deze Adviesgroep is
ook sprake geweest
van een inhaalma-
noeuvere, omdat ons
land op dit belangrijke
gebied een achter-
stand heeft, vergele-
ken bij het buitenland.



Dit citaat uit het begin van het hoofdstuk 'Sociale en culturele invloeden van de micro-elektronica' is representatief voor het hele rapport van de 'Adviesgroep Maatschappelijke Gevolgen van de Micro-elektronica' (Commissie Rathenau), dat vorige maand door de regering is gepubliceerd en aan de Tweede Kamer is aangeboden.



De adviesgroep, onder voorzitterschap van Prof. dr. G. W. Rathenau (oud-directeur van het Natuurkundig Laboratorium van Philips), heeft tien maanden aan dit rapport gewerkt en de maatschappelijke problematiek aan uitvoerige beschouwingen onderworpen: economisch, sociaal, maatschappelijk, technisch en onderwijskundig. Dit heeft geresulteerd in uitvoerige analyses en beschrijvingen, benevens een beleidsschets en een aantal aanbevelingen die vooral het karakter hebben van dringende adviezen om op een groot aantal deelgebieden snel en grondig verdere studies uit te voeren.

Aanbevelingen

1. Voortzetting van de werkzaamheden van de Adviesgroep (in andere vorm);
2. Het snel in gang zetten van aspectenonderzoek ('technology assessment') door multi-disciplinair samengestelde groepen onder-

◀ Het retoucheren van een masker voor IC-fabricage. Concentratie van kennis in de micro-elektronica is echter hard nodig.

▶ Het aspect dat bij de ontwikkeling van de micro-elektronica de meeste zorgen baart zijn de gevolgen voor de werkgelegenheid.

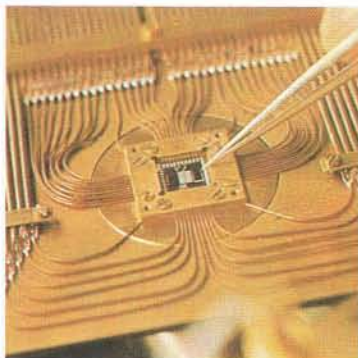
De ontwikkeling van de 'chip' leidt tot ongekend grote effecten in de computer-technology.

**natuur
en
techniek**

zoekers, voornamelijk afkomstig uit de Universiteiten en Technische Hogescholen. De Wetenschappelijke Raad voor het Regeringsbeleid moet hierbij als opdrachtgever en coördinator optreden. De wetenschapsvoorlichting krijgt een belangrijke taak toebedeeld bij het toegankelijk maken van de resultaten;

3. Er moet een *micro-elektronica centrum* worden opgericht, bemand met 20 academici, dat twee taken krijgt: fungeren als kennisbank voor en over micro-elektronica en fungeren als adviespunt voor het midden- en kleinbedrijf. De Overheid moet de start ervan organiseren en financieren; maar dit centrum moet snel volledig zelfstandig worden en zichzelf bedruipen.

4. De Overheid moet specialisatie in 'soft ware' (programmatuur voor computers) in ons land steunen, wegens de hoge toegevoegde



waarde en het arbeidsintensieve karakter hiervan. Deze steun moet voor de korte termijn bestaan uit financiële maatregelen, op langere termijn uit onderwijsmaatregelen, vooral op het gebied van de informatica;

5. Ten behoeve van het behoud en zo mogelijk vergroten van de werk-

gelegenheid, moet de Overheid een bewust innovatiebeleid voeren;

6. Op Onderwijsgebied dient een veelheid van maatregelen te worden genomen zoals:

- breed overleg tussen onderwijsdeskundigen en anderen ten aanzien van de 'education permanent' stimulering van alle met micro-elektronica samenhangende



de wetenschappelijke disciplines, teneinde bestaande achterstanden op het buitenland zo mogelijk in te lopen en in ieder geval te verkleinen.

- vorming van deskundigen, onder wie docenten, middels post-academisch onderwijs en vakcursussen; regeling van de wetenschappelijke opleiding in systeemleer en informatica.
- voor andere vormen van onderwijs dient een onderzoek te worden ingesteld naar de gevolgen voor het leerplan, indien *toegang tot kennis* meer accent krijgt dan *verwerving van parate kennis*; tevens is onderzoek nodig naar de vraag in welke mate leerlingen (ook van het basisonderwijs) vertrouwd moeten worden gemaakt met het hanteren van moderne apparatuur.

- selectie en erkenning van goede opleidingen in het bedrijfsleven, subsidiëring daarvan en toezicht op de kwaliteit;

7. De Overheid moet snel een standpunt innemen ten aanzien van de aanbevelingen van de Staatscommissie-Koopmans over de bescherming van de persoonlijke levenssfeer ('privacy') omdat de micro-elektronica nieuwe inbreuken daarop mogelijk maakt;

8. Studie van het relatiepatroon en de door micro-elektronica veroorzaakte veranderingen daarin tussen de rijke landen en de derde wereld;

9. Uitbreiding van de voorlichting over nieuwe technische ontwikkelingen in het algemeen en de micro-elektronica in het bijzonder, ten einde het maatschappelijke draagvlak van het beleid te versterken.

Chips zijn flinterdunne plakjes silicium, ter grootte van enkele vierkante millimeters, waarop een geïntegreerde schakeling (IC) is aangebracht. Om een idee te krijgen van de ware grootte: een tiental chips liggen in een contact-lensje van 9 mm diameter. Dat 'schaaltje' ligt bovenaan op een polshorloge.



Werkgelegenheid

De Adviesgroep besteedt ook uitgebreid aandacht aan de economische aspecten van de micro-elektronica, in het bijzonder aan de gevolgen voor de werkgelegenheid. De Adviesgroep houdt, indien geen adequate maatregelen worden genomen, een werkloosheid boven de 300 000 manjaren in 1990 voor waarschijnlijk. Een van de leden meent deze schatting nader te moeten bepalen als liggend tussen de 400 000 en 600 000 manjaren. "De Adviesgroep acht een



dergelijk getal niet acceptabel", zo staat in het rapport. "De Overheid zal derhalve maatregelen moeten nemen om die ontwikkeling tegen te gaan." Overigens wordt aangekend dat een belangrijk deel van de werkgelegenheidsproblematiek ontstaat doordat tussen 1980 en 1990 het aanbod van arbeid met ruim 700 000 personen toeneemt. Ook wordt uitvoerig betoogd dat deze getallen slechts indicatieve waarde hebben, omdat uiteraard geen rekening kan worden gehouden met externe factoren. Juist de introductie van micro-elektronica op grote schaal in het komende decennium, zo schrijft de Adviesgroep, is een van de belangrijkste externe factoren die de Nederlandse economie beïnvloeden. De micro-elektronica zal, aldus een conclusie uit hoofdstuk 3, een verbetering van de arbeidsproductiviteit met zich brengen. "Uit dien hoofde zou de ontwikkeling van de micro-elektronica alleen positief kunnen worden beoordeeld, ware het niet dat de werkgelegenheid in het geding is. De ontwikkeling van de micro-elektronica is begonnen

in een economisch weinig florissante periode, en dat maakt het doen van harde voorspellingen over de effecten extra moeilijk." De regering zal maatregelen moeten nemen die voor een belangrijk deel liggen in de sfeer van wat wordt genoemd 'investeringen in de toekomst'. Een politiek van afwachten of afremmen, bijvoorbeeld door een algemene automatiseringsheffing, acht de adviesgroep op lange termijn noodlottig. Maar de adviesgroep is evenmin van mening dat de ontwikkelingen maar moeten worden overgelaten aan het vrije spel van de technologie.

Een micro-elektronica centrum

Het aanbevolen aspectenonderzoek moet als basis dienen voor het reguleren door de overheid van door micro-elektronica mogelijk

geworden ontwikkelingen. Maar daarnaast is samenbrengen van de in ons land aanwezige wetenschappelijke kennis op het gebied van de micro-elektronica en de daarvan afgeleide en direct ermee verband houdende wetenschappen en technieken in één centrum dringend noodzakelijk.

Het centrum zal zich niet bezig moeten houden met het fabrieksmatig produceren van standaard geïntegreerde schakelingen, maar wel met toepassingsmogelijkheden en deelgebieden van de micro-elektronica-technologie die nog onvoldoende ontwikkeld zijn, zoals randapparatuur en sensoren, software en de architectuur van systemen. Door deze werkzaamheden kan het centrum in staat zijn de zo noodzakelijke hulp te verlenen aan middelgrote en kleine on-

◀ Relevante informatie kan straks nog beter worden verzameld en voor ons worden geordend.

Bescherming van privacy voor de burger verdient alle aandacht. De micro-elektronica kan nieuwe inbreuken daarop mogelijk maken.



dernemingen, die zijn aangewezen op creatief gebruik van de micro-elektronica-technologie.

Sociale en culturele invloeden

Door micro-elektronica worden computers kleiner in afmetingen, goedkoper en groter in capaciteit. Kleine organisaties en ook individuele personen kunnen het gebruik van computers bekostigen. Wijde verspreiding, uitbreiding van toepassingsgebieden en nivellering van het computergebruik worden door micro-elektronica mogelijk gemaakt. Deze ontwikkeling wordt nog versterkt door het samengaan van de computertechnologie met de verwante telecommunicatietechnologie (die ook van micro-elektronica gebruik maakt). Dit alles betekent dat micro-elektronica ook grote sociale en culturele invloeden zal hebben.

Zaken als de noodzaak tot energiebesparing, de noodzaak tot milieubescherming en de toenemende behoefte aan beveiliging van woonhuis e.d. tegen misbruik en inbraak, vormen enkele factoren die verdergaand gebruik van micro-elektronica zullen bevorderen. Er is een legio aantal voorbeelden te noemen, waarin micro-



elektronica kan worden gebruikt. Het gevolg is een discussie over de autonomie van de technologie en over de vraag naar de mogelijkheden om de technologie te beheersen. Onderwerpen van die discussie zijn: beleidsvorming, beslissingsprocedures, beslissingsstrategieën, leefbaarheid in organisaties, individuele vrijheid ten overstaan van complexe organisaties, kwaliteit en beschikbaarheid van arbeid, enz.

Actueel in de discussie rondom de micro-elektronica is het ontbreken van feitenmateriaal. De technologie mag redelijk ontwikkeld zijn, met de toepassing ervan in de samenleving is nog maar net een begin gemaakt. Feitelijke gegevens

Ook de huiscomputer zal zijn intrede doen.



De introductie van micro-elektronica op grote schaal zal de economie in de tachtiger jaren steeds meer beïnvloeden.

Viewdata bij de P.T.T. Met een openbare proef wil men nog dit jaar van start gaan.

over culturele en maatschappelijke gevolgen zijn er nog nauwelijks. Het formuleren van doelstellingen voor de toekomst hoeft daardoor echter niet sterk te worden belemmerd. Deze doelstellingen kunnen in belangrijke mate richting geven aan de komende ontwikkelingen.

Een houding van 'wait and see' kon men zich wellicht in vroegere tijden permitteren in een wereld waarin de veranderingen relatief traag verliepen. Door de onvoorstelbaar snelle groei van de productie van micro-elektronica en de mogelijkheden van kleinschalige toepassingen hiervan, zou een dergelijke houding thans onverantwoord zijn.



Samenstelling van de Adviesgroep Maatschappelijke Gevolgen van de Micro-elektronica, ingesteld bij Ministeriële Beschikking d.d. 22 december 1978.

Prof. dr. G. W. Rathenau, voorzitter; Gepensioneerd, Oud-directeur Natuurkundig Laboratorium Philips, emeritus hoogleraar natuurkunde Universiteit van Amsterdam.

Prof. ir. A. Heetman; Hoogleraar in de telecommunicatie en digitale systemen aan de Technische Hogeschool te Eindhoven.

Dr. ir. H. Bosma; Adjunct-directeur Natuurkundig Laboratorium Philips.

Prof. dr. ir. S. Middelhoek; Hoogleraar elektronische materialen aan de Technische Hogeschool te Delft.

Prof. dr. E. M. Uhlenbeck; Hoogleraar algemene taalwetenschap en Javaanse taal- en letterkunde aan de Rijksuniversiteit te Leiden.

Prof. dr. J. P. Kuiper; Hoogleraar sociale geneeskunde aan de Vrije Universiteit te Amsterdam.

Prof. dr. H. J. van Dongen; Hoogleraar sociale psychologie aan het Interuniversitair Instituut Bedrijfskunde te Delft.

Prof. drs. H. den Hartog; Hoogleraar in de leer der analogieën aan de Technische Hogeschool te Eindhoven, Adjunct-directeur Centraal Planbureau.

Prof. dr. J. J. A. Vollebergh; Hoogleraar in de leer der interne organisatie aan de Kath. Universiteit te Nijmegen, Directeur van het Gemeenschappelijk Instituut voor Toegepaste Psychologie.

Prof. dr. A. Bosman (per 1 jan. 1979); Hoogleraar in de bedrijfshuishoudkunde (bedrijfseconomie) aan de Rijksuniversiteit te Groningen.

Als waarnemers namens de Minister voor Wetenschapsbeleid werden benoemd:

Dr. J. J. G. M. van Boeckel; Adviseur ruimtevaartzaken van de Directeur-Generaal voor Wetenschapsbeleid.

Ir. J. P. W. Schneider; Adviseur informatica van de Directeur-Generaal voor Wetenschapsbeleid.

* Prof. drs. H. den Hartog was door ziekte verhinderd de vergaderingen bij te wonen. Op enkele zittingen werd zijn plaats ingenomen door Ir. J. Sandée, wetenschappelijk adviseur van het Centraal Planbureau.

Bronvermelding illustraties:
Philips' Natuurkundig Laboratorium / Chemisch Weekblad: pag. 72.
Philips Persbureau: pag. 72 (rechtsboven), pag. 74 links.
IBM Nederland/DP Monitor: pag. 73 t/m 75.
Ned. Standard Electric My., ITT: pag. 76 boven.
Drs. Chr. Titulaer/Foto Romca: pag. 76 onder.
Pers- en Publiciteitsdienst PTT: pag. 77.

J. H. van Boom
*Rijksuniversiteit
Leiden*

Z-DNA

Een nieuwe ruimtelijke vorm van DNA op atomair niveau.

In 1953 maakten Watson en Crick wereldkundig dat DNA (Desoxyribo-Nucleic-Acid), het molecuul waarin de genetische informatie opgeslagen ligt, een rechtsdraaiende dubbele helix was.

De componenten van de dubbele helix bestaan uit vier bouwstenen die via fosfaatesters, de zogenaamde fosfaatruggegraat, met elkaar verbonden zijn. De vier bouwstenen kunnen onderverdeeld worden in twee groepen: de kleine bouwstenen *deoxythymidine* (T) en *deoxycytidine* (C) en de grote bouwstenen *deoxyguanosine* (G) en *deoxyadenosine* (A). Deze bouwstenen vormen onderling met elkaar waterstofbruggen en wel altijd volgens één bepaald patroon. Een A-bouwsteen vormt een basepaar met T of omgekeerd (A-T of T-A basepaar), en een G met een C-bouwsteen of omgekeerd (G-C of C-G basepaar). De vorming van de baseparen geeft de helix een stabiele vorm. De bouwstenen kunnen nu in de ruimte verschillende

conformaties aannemen, die op hun beurt, door de vorming van baseparen gefixeerd worden.

Het is nu van essentieel belang om uit te vinden welke ruimtelijke stand de bouwstenen, onder invloed van de stabiliserende werking van de basepaarvorming, aangenomen hebben. Immers een ruimtelijk inzicht in de wijze waarop uiteindelijk de vier bouwstenen aaneengeregen zijn tot een dubbele helix, geeft ons belangrijke informatie op de vraag hoe DNA op moleculair niveau functioneert: hoe het de overdracht van de erfelijkheid teweegbrengt.

De meest ideale manier om direct en op atomair niveau naar moleculen te kijken, wordt ons gegeven door röntgenanalyse. Deze techniek maakt het mogelijk om elk atoom dat groter is dan waterstof, via zijn reflectie die optreedt na bestraling met röntgenstraling, te lokaliseren. De reflecties, die fotografisch vastgelegd worden, openen de mogelijkheid om de ruimtelijke structuur af te leiden.

Het meer of minder gedetailleerd zijn van het beeld dat uit de reflecties gereconstrueerd kan worden, is nu sterk afhankelijk van de toe-

Prof. dr. J. H. van Boom (rechts) en drs. G. van der Marel uit Leiden bestuderen een model van een nieuwe vorm van DNA die zij hebben ontdekt.



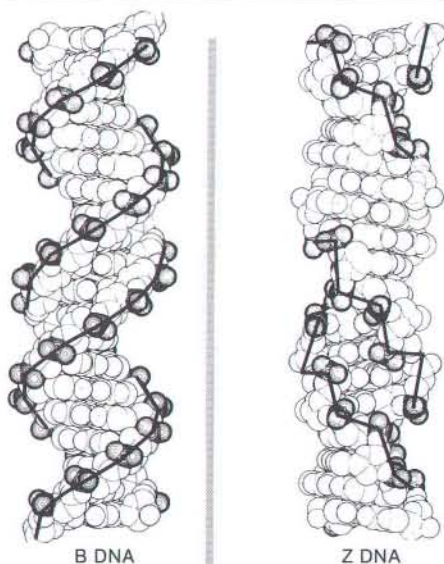


Fig. 1. Zij-aanzichten van B- en Z-DNA. In het B-DNA volgt de fosfaatruggegraat (aangegeven door de zwarte verbindingslijn tussen de fosfaten) een regelmatige rechtsomhoog draaiende koers. In het Z-DNA volgt de fosfaatruggegraat een linksomhoog draaiende zig-zag koers. Het is ook duidelijk zichtbaar dat het Z-DNA compacter opgebouwd is dan het B-DNA.

stand waarin het DNA molecuul zich bevindt tijdens de röntgenopname. Het ruimtelijke beeld, dat via röntgenanalyse verkregen kan worden van moleculen die in een kristallijn patroon gerangschikt zijn, is vele malen gedetailleerder dan van moleculen die in een vezelpatroon gerangschikt zijn. De reden hiervoor is dat in kristallen de atomen volgens een regelmatig patroon gerangschikt zijn, en in dit geval is het dan ook mogelijk dat elk atoom een eigen reflectie oplevert. Bij vezels daarentegen heerst er wanorde en het beeld dat hieruit verkregen kan worden is vele malen minder gedetailleerd. Ofwel anders gezegd, het oplossend vermogen dat bij kristallen verkregen kan worden is vele malen groter dan bij vezels.

Het ruimtelijk beeld dat wij sinds 1953 van DNA kennen, is afgeleid uit röntgenopnamen van vezels. Het is dan ook geen gedetailleerd beeld: het is nog nooit op atomair niveau gezien. Toch concludeerden Watson en Crick op grond van hun resultaten dat DNA een ruimtelijke structuur had waarin:

- de vier bouwstenen dezelfde vorm hadden aangenomen.
- de repeterende eenheid bestond uit één van de vier bouwstenen met telkens één fosfaatgroep.
- de baseparen parallel en op een onderlinge afstand van 0,34 nm boven elkaar gestapeld waren.
- de baseparen 36° t.o.v. elkaar gedraaid waren om de verticale as die zich tussen de baseparen bevindt.
- één volledige wenteling van het DNA om de verticale as tien baseparen was.

Deze Watson en Crick *rechtsdraaiende dubbele helix*, het zogenaamde B-DNA, is weergegeven in Figuur 1. Het ruimtelijke beeld dat men zich hierbij kan voorstellen is te vergelijken met een wenteltrap. De horizontale treden stellen hierin de baseparen voor, terwijl de verbindingsstukken tussen de treden de fosfaatruggegraten voorstellen. Als men deze wenteltrap beklimt dan gaat men rechtsomhoog.

Zoals eerder aangegeven werd, is het Watson-Crick model afgeleid uit de reflecties die verkregen werden door een vezelstructuur van DNA te analyseren met röntgenstralen. De ruimtelijke structuur die hieruit afgeleid kon worden is niet van dien aard dat op atomair niveau 'gekeken' kon worden. Het grote struikelblok daarbij is de onmogelijkheid om DNA in een kristallijne vorm te krijgen.

Recentelijk slaagden twee groepen erin om deze barrière te doorbreken. De ene groep (Universiteit van Leiden, o.l.v. Prof. dr. van Boom) synthetiseerde een stukje DNA dat drie C-G en drie G-C baseparen bevatte: het eerste basepaar is C-G en het tweede G-C enz. De ander groep (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, U.S.A., o.l.v. Prof. dr. Rich) slaagde erin om dit synthetisch

DNA te kristalliseren en om via röntgenanalyse de ruimtelijke structuur te bepalen.

Het aantal reflecties dat men voor dit kleine fragment kreeg was 15 000 en het oplossend vermogen 0,09 nm. Ter vergelijking: de Watson-Crick vezelopname vertoonde slechts 300 reflecties en het oplossend vermogen was 0,4 nm.

Voor de eerste keer werd het nu dus mogelijk om een stukje DNA op atomair niveau te zien. Wat men zag was frappant: dit DNA was totaal anders dan de Watson-Crick structuur. Het bleek dat:

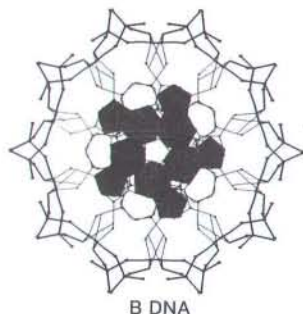
a. de C-bouwstenen een andere

zich waarschijnlijk in de vorm van een lange keten B-DNA, met hier en daar stukjes DNA met de Z-structuur.

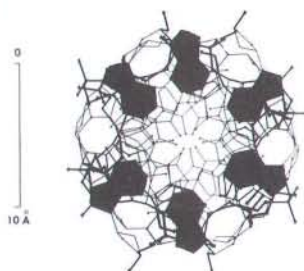
De betekenis van de nieuwe Z-DNA structuur is in verschillende opzichten van groot belang voor de wetenschap.

Op de eerste plaats kunnen door dit nieuwe beeld van DNA vele tot nu toe onverklaarde fysische verschijnselen van DNA ondubbelzinnig verklaard worden. Op de tweede plaats is het zeer waarschijnlijk dat het Z-DNA veel gevoeliger zal zijn voor chemische stoffen die

Fig. 2. Dwarsdoorsnede door B- en Z-DNA. In het Z-DNA liggen de G-bouwstenen (met zwart aangegeven) aan de periferie van het molecuul, bij B-DNA liggen de G-bouwstenen in het centrum van het molecuul en zijn omgeven door de fosfaatruggegraat. De diameter van B-DNA is 2 nm en van Z-DNA 1,8 nm. Hieruit volgt dat Z-DNA veel compacter is dan B-DNA.



B DNA



Z DNA

ruimtelijke vorm hadden dan de G-bouwstenen.

b. de repeterende eenheid twee baseparen was.

c. één volledige wenteling van het molecuul om de verticale as zes baseparen, ofwel twaalf bouwstenen, bedroeg.

d. de fosfaatruggegraat, in tegenstelling tot het B-DNA, een linksdraaiende zig-zag lijn volgde.

De ruimtelijke structuur van het synthetische DNA fragment, het zogenaamde Z-DNA, is weergegeven in Fig. 1. Het meest frappante verschil tussen B- en Z-DNA is gelegen in het feit dat Z-DNA *linksdraaiend* is (zie Fig. 1) en dat de G-bouwstenen aan de periferie (zie Fig. 2) van het molecuul liggen.

Het DNA in de cellen bevindt

met de G-bouwsteen kunnen reageren. Het is namelijk bekend dat enerzijds in natuurlijk DNA stukjes voorkomen met dezelfde volgorde als het gesynthetiseerde stukje DNA, en anderzijds dat er vele chemische stoffen zijn die specifiek reageren met G-bouwstenen.

Tenslotte kan niet uitgesloten worden dat Z-DNA als een herkenningspunt fungeert voor belangrijke enzymatische processen, die een rol spelen in het doorgeven van de erfelijke informatie.

Concluderend mag gesteld worden dat de nieuwe Z-DNA structuur een tipje van de sluier opgeeft en dat er nog vele fundamentele onderzoeken verricht moeten worden om het wezen van DNA te ontsluiten.



WAGENINGEN

Bij de vakgroep Humane Voeding van de Landbouwhogeschool kan in het kader van een door de Nederlandse Hartstichting gesubsidieerd onderzoek worden geplaatst een

analist (m/v)

in ieder geval voor de periode van 1 april 1980 tot 1 januari 1981, met mogelijkheid tot verlenging.

Functie-informatie

de vakgroep Humane Voeding verricht onder meer onderzoek naar de rol van de voeding m.b.t. hart- en vaatziekten. Het onderzoek is zowel epidemiologisch als experimenteel.

De aan te stellen medewerk(st)er komt te werken in een team van analisten en wetenschappelijk medewerkers. Zij/hij zal daarbinnen onder meer belast worden met de volgende taken:

- het verrichten van analyses in serum en ander biologisch materiaal;
- het participeren in het opzetten van nieuwe analysetechnieken.

Bij beide zullen instrumentele technieken zoals gaschromatografie, elektroforese en ultracentrifugale scheidingen een belangrijke rol spelen.

Vereist:

opleiding bij voorkeur HBO-A, biochemische richting.

Geboden:

salaris volgens rijksregeling, afhankelijk van leeftijd, opleiding en ervaring tot maximaal f 2756,- bruto per maand (exclusief 8% vakantietoelating).

Inlichtingen:

bij de heer F. J. M. Schouten, tel. 08370-82528 of bij de heer M. B. Katan, tel. 08370-82646.

Sollicitaties:

binnen 14 dagen na verschijnen van dit blad, met vermelding van opleiding, ervaring en referenties onder nr. 80-08 (te vermelden in de linker bovenhoek van de brief én op de enveloppe) richten aan het hoofd van de afd. Personeelszaken van de Landbouwhogeschool, Postbus 9101, 6700 HB Wageningen.

Rectificatie

In het afgelopen decembernummer is in het artikel van L. A. Bouwman en A. J. Kop over de Dollard een fout in Fig. 2 op pag. 672-673 gemaakt. Voor een juist begrip van de daar geschetste situatie moeten de *blauwe* lijnen weggelaten worden. Nogmaals zij benadrukt dat de overgang van de ene grijsgradatie in de andere in werkelijkheid vloeiend verloopt.



Het zuiveringsschap Veluwe is belast met de zorg voor de kwaliteit van het oppervlaktewater in een beheersgebied van ca. 200.000 ha.

Bij de chemisch technologische afdeling van de technische dienst van het zuiveringsschap bestaat wegens uitbreiding een vakature voor een

HYDROBIOLOGISCH ASSISTENT(E)

Werkzaamheden:

- de uitvoering van onderzoek naar het voorkomen van makrofauna en phytoplankton in oppervlaktewater (monsternamen, determinatie en tellen)
- het meewerken aan de uitvoering van hydrobiologisch onderzoek, zoals de indeling van oppervlaktewater in bestemmingsklassen en hydrobiologische waterkwaliteitsbeoordeling
- mikroskopisch actief slibonderzoek.

Vereisten:

- een H.B.O.-opleiding, zoals botanisch of zoologisch analist met ekologische specialisatie
- ervaring op het gebied van makrofauna-onderzoek strekt tot aanbeveling
- zelfstandig kunnen werken
- rijbewijs B.E.

Aanstelling:

- de aanstelling, in tijdelijke dienst voor de duur van één jaar, geschiedt afhankelijk van opleiding en ervaring in de rang van analist(e) of analist(e) A (salaris tussen f 1.713,-- en f 2.756,-- bruto per maand). Bij gebleken geschiktheid zal aanstelling in vaste dienst volgen.
- de bij de overheid gebruikelijke rechtspositieregelingen zijn van toepassing (Algemeen Burgerlijk Pensioenfonds, I.Z.A., studiekostenvergoedingsregeling e.d.).

Sollicitaties:

Uw schriftelijke sollicitaties kunt u binnen 10 dagen na verschijnen van dit blad richten aan het hoofd technische dienst van het zuiveringsschap Veluwe, postbus 9030, 7300 EN Apeldoorn.

brinklaan 268
postbus 9030
7300 en apeldoorn
telefoon 055-210420





Specialisten in zeer exotische reizen en excursies

- Geleide excursies en expedities voor kleine groepen -
- Doe het zelf natuurreizen naar tropische koraaleilanden -
- Geen toeristische reizen, maar biologisch/geografisch georiënteerd -
- Zoveel mogelijk respect voor de individuele interesse van iedere deelnemer -
- Wij organiseren ook reizen op verzoek -

De opzet van deze zogenaamde "Laatste Paradijzen Excursies" is steeds om een kleine groep geïnteresseerden in de gelegenheid te stellen met een bepaald natuurgebied kennis te maken op een zo grondig en waardig mogelijke wijze. Zorgvuldig worden zoveel mogelijk toeristische trekpleisters vermeden, daarvoor in de plaats komt een kennismaking met het land zelf, d.w.z. met zijn oorspronkelijke bewoners, daarin begrepen mens en dier en plant in hun natuurlijke omgeving. Ook de cultuur krijgt hierin de aandacht die haar toekomt.

A. PAASREIS

1. NEPAL. In samenwerking met Vereniging "Nederland-Nepal". Voorjaars-trektocht door de Himalaya. Prijs \pm f 2950,-. Reisdata nader vast te stellen.

B. ZOMERREIZEN

2. GALAPAGOS EILANDEN PER PRIVÉJACHT. 14 Vrije dagen Galapagos verkennen + 1 week Ecuador. Prijs f 6200,-. 10/7 t/m 2/8.
3. UITGEBREIDE OOST-AFRIKA SAFARI. 26 dagen dwars door Kenya. Prijs f 4800,-. 10/7 t/m 3/8.
4. UITGEBREIDE TANZANIA EXPEDITIE. 23-daagse tocht. Prijs f 5400,-. 19/7 t/m 11/8.
5. TANZANIA CHIMPANSEE EXPEDITIE. Prijs nog onbekend. 28/6 t/m 11/7.
6. EXPEDITIE NAAR DE BINNENLANDEN VAN SURINAME. 3-weekse korjaal-tocht naar de diepe binnenlanden. Prijs f 4200,-. 23/7 t/m 14/8.
7. 21-DAAGSE KAMPEERTREKTOCHT DOOR CANADA. 2700 Mijl dwars door British Columbia en Alberta. Prijs f 4250,-. \pm half juli.
8. INDONESIË: JAVA, MAAR DAN ANDERS. 30-daagse reis van het uiterste westen (Ujung Kulon) naar het uiterste oosten (o.a. Meru Betiri). Veel aandacht voor natuurgebieden, kultuurlandschappen en mensen. Prijs f 5250,-. 10/7 t/m 10/8.
9. INDONESIË: Avontuurlijke expeditie naar de diepe binnenlanden van BORNEO. Prijs f 5850,- bij een minimum deelname van 10-15 personen. 10/7 t/m 10/8.
10. HEBRIDEN: St. KILDA/RHUM. Een 21-daagse reis naar deze natuurreservaten, speciaal voor vogelliefhebbers. Prijs \pm f 3000,-. 10/7 t/m 31/7.
11. SEYCHELLEN: LA DIGUE. Doe het zelf natuurreis. 3 Weken op een afgelegen tropisch koraaleiland waar U eigen baas bent. Prijs f 3350,-. \pm 13/7 t/m 5/8.
12. PERU... MAAR DAN ANDERS. \pm 4-weekse uiterst avontuurlijke tocht. Prijs f 5800,-. \pm 6/7 t/m 6/8.
13. TREK-KAMPEERTOCHT NAAR HET DAK VAN DE WERELD. 27-daagse avontuurlijke reis naar Kashmir en Ladakh. Prijs all-in f 4100,- (onder voorbehoud). 16/7 t/m 15/8.

C. WINTERREIZEN

14. KENIA SAFARI. Alle beschikbare tijd safari. Prijs f 3950,-. 20/12 1980 t/m 5/1 1981.
15. SENEGAL. Safari door West-Afrika. Prijs nog onbekend. 21/12 1980 t/m 6/1 1981.
16. WEST-AFRIKA SAFARI (Mali). Bijzonder avontuurlijke expeditie. Prijs nog onbekend. 16/12 1980 t/m 5/1 1981.
17. TANZANIA SAFARI - Alle beschikbare tijd safari. Prijs \pm f 3950. 20/12 1980 t/m 5/1 1981.

Alle prijzen zijn gezien de prijsstijgingen i.v.m. olietoeslag onder voorbehoud.

Indien U over een of meer (s.v.p. opgeven) van bovenstaande reizen informatie wenst te ontvangen kunt U deze aanvragen bij het Secretariaat van de Stichting "Laatste Paradijzen Excursies", Dr. Ir. Ross van Lennepstraat 18, 6419 BL Heerlen, tel.: 045-711263 of 043-16137. Contactadres voor België: W. Mariën, Nederstraat 22, B2628 Rupelmonde, tel.: 31-742992.

Amsterdam vraagt

voor de **GEMEENTEWATERLEIDINGEN**

bij het Laboratorium een

analist

vac.nr. A 16826

ten behoeve van het gebied Leiduin/Heemstede

en een

analist

vac.nr. A 16926

ten behoeve van het gebied Driemond

■ **TAAK** vac.nr. A 16826 chemisch en bacteriologisch wateronderzoek verrichten met moderne instrumentele analysemethoden.
vac.nr. A 16926 hydrobiologisch en

bacteriologisch wateronderzoek verrichten met moderne instrumentele analysemethoden.
■ **VEREISTEN** HBO-A; ervaring in soortgelijke werkzaamheden.

Voor vac.nr. A 16926 kunnen ook botanisch analisten solliciteren.

■ **SALARIS** afhankelijk van leeftijd en ervaring, maximaal f 3051,- bruto per maand.

Zowel mannelijke als vrouwelijke kandidaten kunnen naar deze functies solliciteren. Het gemeentelijk beleid is gericht op gelijke kansen voor vrouwen en mannen. Vakantiegeld 8 procent, de rechtspositieregeling van de gemeente Amsterdam is van toepassing. Een psychologisch onderzoek zal deel uitmaken van de selectieprocedure. Schriftelijke sollicitaties binnen 14 dagen te richten aan de Afdeling Personeelszaken, Oudezijds Voorburgwal 274, 1012 GL Amsterdam, onder vermelding van het genoemde vacaturenummer.



gemeente
amsterdam

RIJKSINSTITUUT VOOR DE VOLKSGEZONDHEID BILTHOVEN UTRECHT

Bij het Laboratorium voor Pathologie te Bilthoven kan worden geplaatst een

histologisch analist(e)

die vooral in het kader van toxicologisch en immuunpathologisch onderzoek tot taak zal hebben het vervaardigen en deels beoordelen van histologische preparaten.

Hierbij wordt o.m. gebruik gemaakt van immuuncytochemische en enzymhistochemische technieken.

Opleiding: diploma H.B.O.-A.

Salaris: bij aanstelling tot max. f 2487,-
bruto per maand.

Schriftelijke sollicitaties onder nr. Path.-387 te richten aan het Hoofd van de Afdeling Personeelszaken, Postbus 1, 3720 BA Bilthoven.



Bij de
**APOTHEEK HAAGSE
ZIEKENHUIZEN**

bestaat de plaatsingsmogelijkheid voor een

hoofd-apothekers assistent of technoloog

De Apotheek Haagse Ziekenhuizen is als gemeentelijke dienst de centrale ziekenhuisapothek voor 's-Gravenhage en omstreken met een verzorgingsgebied van 13 ziekenhuizen en 15 verpleeghuizen. Bij de Apotheek Haagse Ziekenhuizen zijn 150 medewerkers in dienst.

De aan te stellen functionaris – die zijn opdrachten ontvangt van de apotheker Fabricage – zal worden belast met de leiding van, de verantwoordelijkheid voor en de coördinatie van drie sterilisatie-afdelingen. In de afdeling Sterilisatie I vindt de bereiding van infusievloeistoffen en spoelvloeistoffen plaats. De afdeling Sterilisatie II is belast met de bereiding van injectievloeistoffen in ampullen en flesjes en de aseptische bereiding van steriele poeders, zalven en oplossingen. In de afdeling Sterilisatie III worden verbandmiddelen, disposables en instrumenten gesteriliseerd.

Er dient leiding te worden gegeven aan drie apothekers-assistenten en veertien farmaceutische hulpmedewerkers. Qua persoonlijk moeten aan de functionaris de volgende eisen worden gesteld: een grote mate van verantwoordelijkheidsgevoel, zelfstandig handelen en alert reageren, maximale accuratesse, organisatievermogen, leidinggevende en contactuele eigenschappen. Met het oog hierop wordt bereidheid tot een psychotechnisch onderzoek van de kandidaat verwacht. Daarbij zullen met name het organisatievermogen en de leidinggevende kwaliteiten overwegende aspecten zijn.

De aanstelling zal geschieden in de rang van wetenschappelijk hoofdassistent. Het maximaal te bereiken salaris bedraagt f 3.981,- bruto per maand.

Schriftelijke sollicitaties met volledige personalia binnen 14 dagen te zenden aan de Apotheker-directeur van de Apotheek Haagse Ziekenhuizen, Escamplaan 900, 2547 EX 's-Gravenhage.



Gemeente 's-Gravenhage

lo de rijksoverheid vraagt

wetenschappelijk medewerker (mnl./vrl.)

voor het Ministerie van Verkeer en Waterstaat
t.b.v. het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut,
Klimatologische Dienst

De Klimatologische Dienst is een onderafdeling van het KNMI en is belast met het meten, verzamelen, controleren, verwerken en vastleggen van meteorologische gegevens. Daarnaast wordt met deze gegevens voorlichting gegeven aan derden en worden deze gebruikt voor het samenstellen van publicaties. In totaal worden de waarnemingen van 350 stations in Nederland verwerkt. Met lange reeksen waarnemingen wordt het klimaat van Nederland beschreven. Om een en ander te realiseren vindt een regelmatig contact plaats met de andere afdelingen van het KNMI en met diverse instellingen in binnen- en buitenland.

De functionaris zal een belangrijk aandeel hebben bij de ontwikkelingen van het klimatologische meetnet, de opzet van de waarnemingen en de bewerking van de gegevens.

Taak: een bijdrage leveren aan de werkzaamheden van de Klimatologische Dienst in het algemeen en in het bijzonder: meewerken aan de ontwikkeling van een net van moderne klimatologische waarnemingsstations en efficiënte verwerking van de meetresultaten; bestuderen en uitwerken van vraagstukken met een fysisch-wetenschappelijk karakter t.b.v. adviezen op meteorologisch gebied; deelnemen aan en/of coördineren van projecten op meteorologisch gebied.

Vereist: voltooide opleiding aan een universiteit of technische hogeschool in meteorologie of natuurkunde of elektronica; interesse voor de problematiek van het meten van meteorologische grootheden; kennis van statistiek en van het verwerken van grote aantallen gegevens m.b.v. een computer; bereidheid in teamverband te werken. Meteorologische kennis en ervaring strekt tot aanbeveling.

Standplaats: de Bilt.

Salaris: afhankelijk van leeftijd en ervaring max. f 5211,- per maand.

Sollicitaties inzenden vóór 18 februari 1980.

Bovengenoemd salaris is exclusief 8% vakantie-uitkering.

Schriftelijke sollicitaties onder vermelding van vacaturnummer 9-4337/1237 (in linkerbovenhoek van brief en enveloppe) en uw huisadres met postcode, zenden aan de Rijks Psychologische Dienst, Prins Mauritslaan 1. Corr. adres: Postbus 20013, 2500 EA 's-Gravenhage.